



**SKRIPSI – ME141501**

**PENGATURAN KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH PADA  
SISTEM KELISTRIKAN DI KAPAL TANKER DENGAN SIMULASI**

Shanti Window Siana  
NRP 04211440000048

**Dosen Pembimbing**  
Ir. Sardono Sarwito, M.Sc  
Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST, M.Sc

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**





**SKRIPSI - ME 141501**

# **PENGATURAN KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH PADA SISTEM KELISTRIKAN DI KAPAL TANKER DENGAN SIMULASI**

Shanti Window Siana

NRP 04211440000048

Dosen Pembimbing

Ir. Sardono Sarwito, M.Sc

Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST., M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**SKRIPSI - ME 141501**

# **SETTING OF OVERCURRENT PROTECTION COORDINATION ON ELECTRICAL SYSTEM IN TANKER VESSEL USING SIMULATION**

Shanti Window Siana

NRP 04211440000048

Supervisors

Ir. Sardono Sarwito, M.Sc

Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST., M.Sc

DEPARTEMENT OF MARINE ENGINEERING  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
INSTITUTE TECHNOLOGY OF SEPULUH NOPEMBER

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **LEMBAR PENGESAHAN**

### **PENGATURAN KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH PADA SISTEM KELISTRIKAN DI KAPAL TANKER DENGAN SIMULASI**

#### **TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**Shanti Window Siana**  
NRP. 04211440000048

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Ir. Sardono Sarwito, M.Sc

(  )

Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST, M.Sc

(  )

Surabaya,  
Agustus, 2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## LEMBAR PENGESAHAN

### PENGATURAN KOORDINASI PROTEKSI ARUS LEBIH PADA SISTEM KELISTRIKAN DI KAPAL TANKER DENGAN SIMULASI

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Shanti Window Siana**  
NRP. 0421144000048

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



**Dr. Eng. M. Badrus Zaman., ST., MT**  
NIP. 197708022008011007

Surabaya,  
Agustus 2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **Pengaturan Koordinasi Proteksi Arus Lebih pada Sistem Kelistrikan di Kapal Tanker dengan Simulasi**

**Nama Mahasiswa** : Shanti Window Siana  
**NRP** : 04211440000048  
**Jurusan** : Teknik Sistem Perkapalan  
**Dosen Pembimbing 1** : Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.  
**Dosen Pembimbing 2** : Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST, M.Sc.

### **ABSTRAK**

Kontinuitas operasional pada sistem kelistrikan kapal tanker memiliki peran yang sangat penting. Oleh karena itu, meminimalisasi dampak yang ditimbulkan oleh gangguan yang terjadi harus dilakukan. Salah satu gangguan yang sering muncul adalah gangguan hubungan singkat dan beban berlebih yang kemudian menimbulkan arus berlebih dimana hal tersebut berpengaruh besar terhadap keamanan komponen – komponen operasional kapal tanker. Oleh sebab itu diperlukan adanya sistem koordinasi proteksi dengan tujuan untuk meminimalisir adanya gangguan pada sistem kelistrikan, salah satunya menggunakan *circuit breaker*. *Circuit breaker* dengan tipe *solid trip* dapat mengamankan arus lebih yang disebabkan oleh beban lebih dan hubungan singkat. Fokus pembahasan tugas akhir ini mengenai pengaturan koordinasi proteksi setiap *circuit breaker* pada komponen yang membutuhkan daya besar dengan arus hubungan singkat maksimal yaitu 1,06 kA pada *cargo oil pump*, 0,499 kA pada *windlass*, 0,48 kA pada *bilge and ballast pump*, 0,48 kA pada *fire and GS pump*, dan 0,467 kA pada *cargo hose handling crane*. Pemilihan *circuit breaker* yang langsung melindungi komponen menggunakan *instantaneous pick up* 0,06 detik. Semua generator sebaiknya memiliki tipe dan *setting circuit breaker* yang sama untuk memudahkan koordinasi proteksi. *Circuit breaker* untuk generator menggunakan *setting* 630 A untuk *long time pick up* dan 945 A untuk *short time pick up*.

**Kata Kunci** : *Arus Hubungan Singkat, Gangguan Beban Lebih, Circuit Breaker, Proteksi Arus Lebih.*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **Setting of Overcurrent Protection Coordination on Electrical System in Tanker Vessel Using Simulation**

**Name** : Shanti Window Siana  
**NRP** : 04211440000048  
**Department** : Marine Engineering  
**1<sup>st</sup> Supervisor** : Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.  
**2<sup>nd</sup> Supervisor** : Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST, M.Sc.

### **ABSTRACT**

Operational continuity in the tanker's electrical system has a very important role. Therefore, minimizing the impacts caused by the disturbances that occur should be done. The disturbance in the electrical system that often happen are over current which caused by short-circuit and overload. It will effect on the safety of components tanker ship's operational. Therefore, it is necessary to have a protection coordination system to minimize the disturbance in the electrical system. Circuit breaker is the one of device protection in electrical system. Solid trip circuit breaker can be protection from short-circuit and overload disturbance. The focus of this topic are the setting of protection coordination in every circuit breaker which are need much power with the possibility of maximum short-circuit value such as 1,06 kA in cargo oil pump, 0,499 kA in windlass, 0,48 kA in bilge ballast pump and fire GS pump, and 0,467 kA in cargo hose handling crane. Circuit breaker for protect the components are using instantaneous pick up 0,06 seconds. All generators should have the same type and circuit breaker setting to make the coordination protection easier. This circuit breaker for generators are using 630 A for setting long time pick up and 945 A for setting short time pick up.

***Keyword : Short—Circuit, Overload Disturbance, Circuit Breaker, Overcurrent Protection.***

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillahirabbil Alaamiin.* Segala puji dan syukur bagi Allah SWT, karena atas segala kemudahan dan pertolongan-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**Pengaturan Koordinasi Proteksi Arus Lebih pada Sistem Kelistrikan di Kapal Tanker dengan Simulasi**” ini dengan tepat waktu.

Penulisan skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu dari beban satuan kredit semester (SKS) serta mendapatkan gelar sarjana teknik di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada seluruh pihak yang memberikan dukungan dalam bentuk bantuan, moral, kasih sayang, dan material terutama kepada kedua orang tua beserta keluarga besar penulis. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pihak – pihak lain yang berperan penting dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat dicantumkan satu persatu. Khususnya kepada beberapa pihak berikut ini :

1. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc. sebagai dosen pembimbing pertama pada tugas akhir ini yang telah memberikan arahan, semangat, dan perhatian dengan sabar dan menyenangkan.
2. Dr. Eddy Setyo Koenhardono, ST, M.Sc. sebagai dosen pembimbing kedua pada tugas akhir ini yang juga selalu memperhatikan dan mendukung mahasiswanya secara positif.
3. Segenap keluar penulis, terutama Ibu, Bapak, dan adik tercinta yang selalu mendoakan, menghibur, dan memberi semangat.
4. Kepada Januardi Budi dan Nafis Ismail sebagai mentor *software* ETAP dan kelistrikan yang berperan besar dan selalu sabar dalam membimbing penulis.
5. Kepada M. Rizqi Mubarak yang selalu menghibur setiap saat dan mengajarkan banyak hal positif.
6. Kepada Bella Puji Darma Samodra yang selalu memberikan dukungan dalam bentuk apapun baik secara moral maupun spiritual.
7. Kepada Halimah Puspitasari, Yuniar Nurrensa, Nur Azizah Nasution, Rindu Fajar Kusuma, Kirana Taradipa Martha, Regita Indar W, dan seluruh keluarga SUPERWOMEN SISKAL yang telah berjuang dan semangat bersama.
8. Kepada Aditya Mahendra, Rizal Saputra, M.Syauqi A, M.Galih Ghafara, Adi Purwanto, M. Fachruddin, dan segenap keluarga besar *MEAS Laboratory* yang telah menemani, memotivasi, serta memberikan banyak pengaruh dalam keadaan susah dan senang.
9. Kepada keluarga besar MERCUSUAR 14, BARAKUDA 13, SALVAGE 15, VOYAGE 16, dan BADRIKARA 17 yang selalu memberikan semangat agar dapat menyelesaikan tugas akhir dengan tepat waktu.
10. Seluruh civitas akademika Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang telah memberikan fasilitas dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Demikian besar harapan penulis atas hasil dari penelitian tugas akhir ini agar dapat bermanfaat bagi seluruh pembacanya serta dapat bermanfaat bagi adik – adik tingkat untuk penyelesaian tugas skripsi kedepannya sebagai bahan referensi. Penulis mengucapkan mohon maaf apabila dalam penulisan tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan. Koreksi dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan dalam penyusunan tugas akhir ini.

Surabaya, Juli 2018

Penulis



## DAFTAR ISI

|   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| LEMBAR PENGESAHAN.....  | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| KATA PENGANTAR.....   | xiii                                |
| BAB I PENDAHULUAN .....   | 1                                   |
| 1.1. Latar Belakang.....  | 1                                   |
| 1.2. Perumusan Masalah.....   | 1                                   |
| 1.3. Batasan Masalah.....   | 2                                   |
| 1.4. Tujuan Penelitian.....   | 2                                   |
| 1.5. Manfaat Penelitian.....  | 2                                   |
| BAB II DASAR TEORI.....   | 3                                   |
| 2.1. Arus Lebih.....  | 3                                   |
| 2.1.1. Gangguan Hubungan Singkat .....  | 3                                   |
| 2.1.1.1. Arus Hubungan Singkat Fasa ke Netral .....                                   | 4                                   |
| 2.1.1.2. Arus Hubungan Singkat Antar Fasa .....                                       | 4                                   |
| 2.1.1.3. Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa.....   | 5                                   |
| 2.1.2. Gangguan Beban Lebih .....   | 6                                   |
| 2.2. Koordinasi Proteksi .....  | 6                                   |
| 2.3. <i>Miniatur Circuit Breaker</i> .....  | 7                                   |
| 2.3.1. Prinsip Kerja <i>Circuit Breaker</i> saat Hubungan Singkat .....               | 7                                   |
| 2.3.2. Prinsip Kerja <i>Circuit Breaker</i> saat Beban Lebih .....                    | 7                                   |
| 2.3.3. <i>Setting Circuit Breaker</i> saat Hubungan Singkat .....                     | 8                                   |
| 2.3.4. <i>Setting Circuit Breaker</i> saat Beban Lebih .....                          | 8                                   |
| 2.4. Karakteristik Kurva Arus Waktu .....   | 8                                   |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....  | 13                                  |
| BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN .....   | 17                                  |
| 4.1 Data Utama Kapal .....  | 17                                  |
| 4.2 Simulasi Load Flow Analysis.....  | 17                                  |
| 4.3 Hasil Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Setiap Bus.....                  | 17                                  |
| 4.3.1 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus MSB 450V .....                   | 18                                  |
| 4.3.2 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus ESB 450V .....                   | 21                                  |
| 4.3.3 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus ESB 220V .....                   | 21                                  |
| 4.3.4 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus Distribution Board<br>220V ..... | 21                                  |
| 4.3.5 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus Distribution Board<br>440V ..... | 22                                  |
| 4.3.6 Total Nilai Arus Hubungan Singkat .....   | 23                                  |
| 4.4 Pengaturan Circuit Breaker .....  | 24                                  |
| 4.4.1. Menentukan Spesifikasi Circuit Breaker .....                                   | 25                                  |
| 4.4.2. Menentukan Setting Trip Device Circuit Breaker .....                           | 26                                  |

|   |    |
|---|----|
| 4.4.2.1. Perhitungan Setting Trip Device Skenario 1 ..... | 26 |
| 4.4.2.2. Perhitungan Setting Trip Device Skenario 2 ..... | 27 |
| 4.4.2.3. Perhitungan Setting Trip Device Skenario 3 ..... | 27 |
| 4.4.2.4. Perhitungan Setting Trip Device Skenario 4 ..... | 28 |
| 4.4.2.5. Perhitungan Setting Trip Device Skenario 5 ..... | 29 |
| 4.5 Analisis Koordinasi Pengaman.....                     | 29 |
| 4.5.1. Analisis Skenario 1 .....                          | 30 |
| 4.5.2. Analisis Skenario 2 .....                          | 33 |
| 4.5.3. Analisis Skenario 3 .....                          | 38 |
| 4.5.4. Analisis Skenario 4 .....                          | 41 |
| 4.5.5. Analisis Skenario 5 .....                          | 46 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....                          | 51 |
| 5.1. Kesimpulan.....                                      | 51 |
| 5.2. Saran.....   | 51 |
| DAFTAR PUSTAKA.....                                       | 52 |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 1.1 Hubungan Singkat Fasa ke Netral .....  | 4  |
| Gambar 1.2 Hubungan Singkat Antar Fasa.....   | 4  |
| Gambar 1.3 Hubungan Singkat Tiga Fasa.....  | 5  |
| Gambar 2.1 Kurva Arus Waktu.....  | 9  |
| Gambar 2.2 Karakteristik Kurva Arus Waktu .....   | 10 |
| Gambar 4.1 Oneline Diagram Oil Tanker 6500 LTDW.....  | 24 |
| Gambar 4.2 Pemilihan Spesifikasi circuit Breaker untuk Generator 350 kW .....   | 25 |
| Gambar 4.3 <i>Oneline Diagram</i> Skenario 1 .....  | 30 |
| Gambar 4.4 Urutan Pemutusan Kontak <i>Circuit Breaker</i> Skenario 1 .....  | 30 |
| Gambar 4.5 Kurva Arus Waktu Skenario 1.....   | 31 |
| Gambar 4.6 <i>Oneline Diagram</i> Skenario 2.....   | 33 |
| Gambar 4.7 Urutan Pemutusan Kontak <i>Circuit Breaker</i> pada Skenario 2.....  | 33 |
| Gambar 4.8 Kurva Arus Waktu Skenario 2.....   | 34 |
| Gambar 4.9 Kurva Arus Waktu pada Beban Maksimal Motor <i>Bilge and Ballast Pump</i> .....                               | 36 |
| Gambar 4.10 Hasil <i>Setting Ulang Koordinasi Pengaman</i> pada Motor <i>Bilge and Ballast Pump</i> Beban Maksimal..... | 37 |
| Gambar 4.11 <i>Oneline Diagram</i> Skenario 3 .....   | 38 |
| Gambar 4.12 Urutan Pemutusan Kontak <i>Circuit Breaker</i> Skenario 3 .....   | 38 |
| Gambar 4.13 Kurva Arus Waktu Skenario 3.....  | 39 |
| Gambar 4.14 <i>Oneline Diagram</i> Skenario 4.....  | 41 |
| Gambar 4.15 Urutan Pemutusan Kontak pada <i>Circuit Breaker</i> Skenario 4 .....  | 41 |
| Gambar 4.16 Kurva Arus Waktu pada Skenario 4 .....  | 42 |
| Gambar 4.17 Kurva Arus Waktu pada Beban Maksimal <i>Cargo Oil Pump</i> .....  | 44 |
| Gambar 4. 18 Hasil <i>Setting Ulang Koordinasi Pengaman</i> pada <i>Cargo Oil Pump</i> Beban Maksimal .....             | 45 |
| Gambar 4.19 <i>Oneline Diagram</i> Skenario 5.....  | 46 |
| Gambar 4.20 Urutan Pemutusan Kontak <i>Circuit Breaker</i> pada Skenario 5 .....  | 46 |
| Gambar 4.21 Kurva Arus Waktu Skenario 5.....  | 47 |
| Gambar 4.22 Kurva Arus Waktu pada Beban Maksimal <i>Fire and GS Pump</i> .....  | 49 |
| Gambar 4.23 Hasil <i>Setting Ulang Koordinasi Pengaman</i> pada <i>Fire and GS Pump</i> Beban Maksimal .....            | 50 |

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 4.1 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus MSB 450V .....                              | 18 |
| Tabel 4.2 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus MSB 450V (lanjutan) ....                    | 19 |
| Tabel 4.3 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus MSB 450V (lanjutan) ....                    | 20 |
| Tabel 4.4 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus ESB 450V .....                              | 21 |
| Tabel 4.5 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus ESB 220V .....                              | 21 |
| Tabel 4.6 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus Distribution Board<br>220V .....            | 21 |
| Tabel 4.7 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus Distribution Board<br>220V (lanjutan) ..... | 22 |
| Tabel 4.8 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus Distribution Board<br>440V .....            | 22 |
| Tabel 4.9 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus Distribution Board<br>440V (lanjutan) ..... | 23 |
| Tabel 4. 10 Total Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa .....  | 23 |
| Tabel 4.11 Perhitungan untuk Arus Long Time Pick Up Skenario 1 .....                                 | 26 |
| Tabel 4.12 Perhitungan untuk Arus Short Time Pick Up Skenario 1 .....                                | 26 |
| Tabel 4.13 Perhitungan untuk Arus Long Time Pick Up Skenario 2 .....                                 | 27 |
| Tabel 4.14 Perhitungan untuk Arus Short Time Pick Up Skenario 2 .....                                | 27 |
| Tabel 4.15 Perhitungan untuk Arus Long Time Pick Up Skenario 3 .....                                 | 27 |
| Tabel 4.16 Perhitungan untuk Arus Short Time Pick Up Skenario 3 .....                                | 28 |
| Tabel 4.17 Perhitungan untuk Arus Long Time Pick Up Skenario 4 .....                                 | 28 |
| Tabel 4.18 Perhitungan untuk Arus Short Time Pick Up Skenario 4 .....                                | 28 |
| Tabel 4.19 Perhitungan untuk Arus Long Time Pick Up Skenario 5 .....                                 | 29 |
| Tabel 4.20 Perhitungan untuk Short Time Pick Up Skenario 5 .....                                     | 29 |

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Kapal merupakan salah satu alat transportasi yang berperan penting dalam membantu jalannya sektor perekonomian Indonesia. Banyak sistem penunjang yang berperan penting bagi kelangsungan operasional kapal, salah satunya adalah sistem kelistrikan.

Di dalam sistem kelistrikan banyak sekali ditemukannya gangguan. Gangguan dalam sistem kelistrikan adalah suatu kondisi tidak normal dimana keadaan ini dapat mengakibatkan terganggunya palayanan tenaga listrik secara terus menerus (Nurdin, 2014). Gangguan yang sering timbul adalah gangguan hubungan singkat dan beban berlebih yang kemudian menimbulkan arus berlebih dimana hal tersebut berpengaruh besar terhadap keamanan komponen – komponen operasional kapal.

Gangguan hubungan singkat merupakan hubungan konduksi secara sengaja maupun tidak sengaja melalui hambatan atau impedansi yang cukup rendah antara dua atau lebih titik yang dalam keadaan normalnya mempunyai beda potensial (IEC 60909). Gangguan beban lebih adalah suatu keadaan berlebih dari periode tertentu dengan waktu yang diizinkan, Beban berlebih yang terlalu lama dapat menyebabkan panas kabel, tingkat isolasi listrik secara bertahap akan menurun, kemudian mengarah pada kerusakan isolasi dan peralatan. Selain itu arus starting juga perlu diberi proteksi. Istilah arus starting, dapat diartikan sebagai arus datang tiba – tiba atau arus kejut, dengan magnitude yang besar tetapi bukan merupakan arus gangguan. Meskipun arus starting bukan merupakan arus gangguan, tetapi keberadaannya juga dapat menginterupsi operasi dari motor listrik, yang dapat menimbulkan tegangan jatuh pada saat starting (Wahyudi, 2016).

Sistem koordinasi proteksi bertujuan untuk meminimalisir adanya gangguan pada sistem kelistrikan. Apabila penggunaan beban berubah pada suatu sistem kelistrikan, maka diperlukan pengaturan ulang koordinasi proteksi untuk mengoptimalkan kerja proteksi. Sistem proteksi harus diatur untuk bekerja secepat mungkin pada kondisi tertentu sebelum gangguan merusak isolasi listrik dan berpengaruh terhadap kinerja suatu komponen. Hal ini menjadi dasar perlunya studi mengenai pengaturan koordinasi proteksi arus lebih.

### **1.2. Perumusan Masalah**

Rumusan masalah sebagai bahan pembahasan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Berapa nilai arus hubungan pendek maksimal dan minimal yang terjadi pada sistem kelistrikan kapal tanker ?
2. Bagaimana perhitungan dari *circuit breaker* untuk memproteksi sistem apabila terjadi gangguan ?
3. Bagaimana pengaturan kembali koordinasi device pengaman jika komponen tidak dapat dilindungi saat terjadi gangguan ?

### **1.3. Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian kali ini dibuat agar lingkup penelitian lebih fokus, yaitu :

1. Analisa hanya difokuskan pada koordinasi dan pengaturan *circuit breaker*.
2. Simulasi menggunakan *software* simulasi
3. Tidak menganalisa dari segi ekonomi

### **1.4. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan nilai arus hubungan pendek maksimal dan minimal yang terjadi pada sistem kelistrikan kapal tanker
2. Mendapatkan nilai dari perhitungan *circuit breaker* untuk memproteksi sistem jika terjadi gangguan.
3. Mendapatkan nilai dari pengaturan kembali koordinasi device pengaman jika komponen tidak dapat dilindungi saat terjadi gangguan.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai studi lebih lanjut mengenai pengaturan koordinasi proteksi arus lebih pada sistem kelistrikan di kapal.
2. Menambah pengetahuan dalam menganalisa penyebab device pengaman yang tidak bekerja secara optimal.
3. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai dasar pengaturan koordinasi proteksi arus lebih pada sistem kelistrikan di kapal tanker.



## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1. Arus Lebih**

Dalam sistem tenaga listrik, arus berlebih dapat disebabkan karena beban berlebih, hubungan singkat, desain yang kurang tepat, atau *ground fault*. Apabila arus yang mengalir melebihi batas kemampuan peralatan listrik atau konduktor, maka hal tersebut dikatakan sebagai arus berlebih. Arus lebih dapat juga disebabkan oleh fluktuasi beban yang mempengaruhi arus menjadi fluktuatif, jika fluktuasi arus melebihi dari standar yang telah ditetapkan, maka terjadilah arus lebih. Arus berlebih tidak selalu menyebabkan kebakaran, hanya jika kelebihan arus ini berkelanjutan atau terlalu tinggi, maka akan menyebabkan kerusakan atau kebakaran yang disebabkan oleh kelebihan beban.

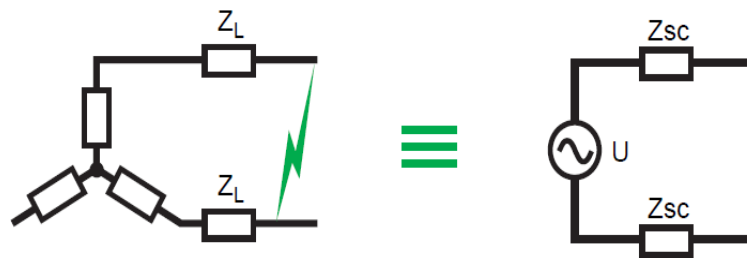
##### **2.1.1. Gangguan Hubungan Singkat**

Gangguan hubung singkat dapat digolongkan menjadi dua macam yaitu: gangguan hubung singkat simetri, dan tidak simetri (asimetri). Gangguan ini dapat menyebabkan mengalirnya arus lebih pada fasa yang terganggu. Selain itu, gangguan ini juga dapat menimbulkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak mengalami gangguan. Hampir semua gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik merupakan gangguan tidak simetri (asimetri).

Gangguan arus lebih pada generator sering kali terjadi akibat adanya hubung singkat. Pada saat ini generator telah dibuat sedemikian rupa sehingga mampu bertahan terhadap adanya arus lebih, meskipun tidak terlalu lama. Settingan waktu tunda (time delay) dari pengaman harus mempertimbangkan kemampuan generator untuk bertahan terhadap kondisi hubung singkat yang terjadi di generator. Sebagaimana diketahui bahwa pada saat terjadi hubung singkat, ada tiga kondisi arus atau reaktansi yang ada pada generator, yaitu arus sub peralihan (subtransient), arus peralihan (transient), arus tetap (steady state). Oleh karena itu, settingan arus dan waktu tunda hendaknya juga mempertimbangkan kondisi-kondisi tersebut.

Penyetelan arus hendaknya juga mempertimbangkan kondisi - kondisi tersebut. Penyetelan arus hendaknya lebih besar dari nilai arus nominal generator sehingga memungkinkan generator mampu menahan beban lebih untuk beberapa detik. Hal yang penting untuk pengaman generator terhadap arus lebih adalah adanya koordinasi pengaman, baik besaran arus maupun waktu tundanya (time delay). Disamping itu perlu pertimbangan juga adanya pengaman cadangan (back up) pada generator. (Januarizki, 2016)

### 2.1.1.1. Arus Hubungan Singkat Fasa ke Netral



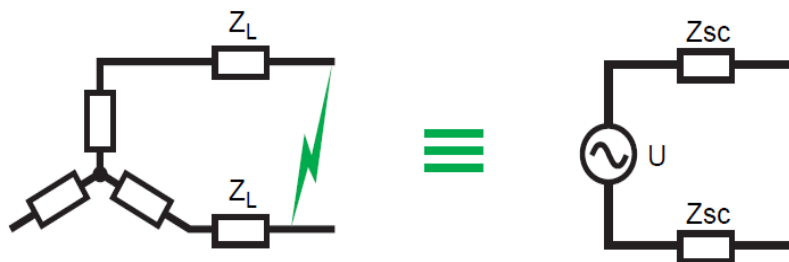
**Gambar 1.1** Hubungan Singkat Fasa ke Netral  
(Cahier Technique Schneider Electric no 158 / p.12)

Hubungan singkat ini terjadi antara salah satu fasa dengan netral ( $I_{sc1}$ ). Misalnya di terminal transformator terhubung dengan Y-Zigzag atau generator dibawah kondisi subtransien. Persamaan dari hubungan singkat ini adalah :

$$I_{SC1} = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3} \times (Z_{SC} + Z_{LN})} \quad (1)$$

Dimana  $V_{LL}$  adalah tegangan antar fasa yang akan direpresentasikan ke bentuk  $V_{LN}$ , dengan  $Z_{LN}$  adalah impedansi netral dan  $Z_{SC}$  merupakan impedansi pada fasa yang terkena gangguan.

### 2.1.1.2. Arus Hubungan Singkat Antar Fasa



**Gambar 1.2** Hubungan Singkat Antar Fasa  
(Cahier Technique Schneider Electric no 158 / p.1)

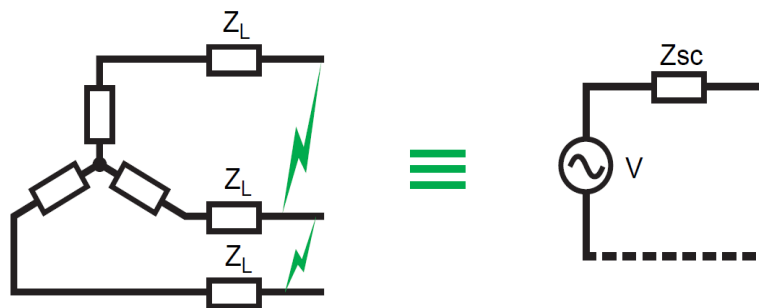
Hubungan ini terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke netral. Misalnya kesalahan pada mesin yang berputar, impedansi mesin yang dihasilkan sehingga  $I_{SC2}$  mendekati  $I_{SC3}$ . Arus hubungan singkat antar fasa ( $I_{SC2}$ ) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{SC2} = \frac{V_{LL}}{2 \times Z_{SC}} \quad (2)$$

Sehingga persamaannya menjadi :

$$I_{SC2} = \frac{\sqrt{3} I_{SC3}}{2} = 0,86 I_{SC3} \quad (3)$$

### 2.1.1.3. Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa



**Gambar 1.3** Hubungan Singkat Tiga Fasa  
Cahier Technique Schneider Electric no 158 / p.12)

Hubungan singkat ini melibatkan ketiga fasa. Hubungan singkat tiga fasa paling sering terjadi pada jaringan kelistrikan. Arus hubungan singkat tiga fasa ( $I_{SC3}$ ) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{SC3} = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3} \times Z_{SC}} \quad (4)$$

dimana  $V_{LL}$  adalah tegangan nominal line to line, dan  $Z_{SC}$  adalah impedansi.

### 2.1.2. Gangguan Beban Lebih

Masalah beban lebih dapat terjadi apabila motor mengangkat beban yang lebih berat, sehingga arus yang dibutuhkan akan meningkat. Suatu motor listrik dapat dikatakan terjadi gangguan beban lebih jika arus yang mengalir melebihi arus nominalnya, artinya motor menyerap arus secara berlebihan, sehingga menimbulkan panas yang tinggi. Panas yang tinggi dan terus menerus akan menyebabkan kerusakan pada lilitan motor, jika kondisi ini tidak segera diproteksi maka akan membakar lilitan motor.

Motor listrik kadang kala mendapatkan beban lebih tanpa disadari. Beberapa komponen tidak dapat menahan kelebihan beban yang diterimanya, akibatnya akan terjadi kerusakan. Misalnya, motor digunakan untuk memutar beban melebihi kapasitas putaran motor sehingga suplay arus akan melebihi daya tahan kawatnya, sehingga kawat kumparan hangus dan tidak dapat digunakan lagi. Dalam kondisi ini, untuk memproteksi motor dapat digunakan proteksi circuit breaker arus lebih dan beban lebih.

## 2.2. Koordinasi Proteksi

Sistem proteksi adalah sistem pengaman peralatan listrik seperti generator, transformator, motor dll. terhadap kondisi-kondisi abnormal. Fungsi utama dari sistem proteksi adalah menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan listrik, mempercepat melokalisir daerah yang terganggu, mengamankan manusia dari bahaya listrik (Hutahuruk, 1991).

Perhitungan sirkuit pendek untuk pemilihan switchgear dan koordinasi perlindungan dilakukan sesuai dengan praktik nasional dan internasional yang telah ditetapkan, yang paling penting dan diterima secara luas adalah Standar IEC dan ANSI / IEEE. Standar IEC 60909 yang diterapkan dalam makalah ini, mencakup berbagai tingkat tegangan jaringan, konfigurasi, kondisi operasi dan peralatan pembangkit dan beban.

Koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan membutuhkan beberapa pembelajaran khusus salah satunya yaitu terletak pada cara mendesain waktu *trip*. Suatu *circuit breaker* harus dilakukan pengaturan waktu *pickup*-nya agar dapat beroperasi dengan cepat dan memiliki selektivitas tinggi dalam merasakan serta mengisolasi gangguan pada peralatan sekitarnya. Peralatan proteksi harus disiapkan untuk memutus setiap arus lebih yang mengalir pada motor atau rangkaian listrik sebelum arus tersebut dapat menyebabkan kenaikan suhu yang merusak isolasi, sambungan, terminasi atau sekeliling penghantar.

Untuk memproteksi sebuah sistem harus diperhatikan mengenai batas daerah mana yang akan diamankan, sehingga suatu sistem proteksi akan memberikan respon terhadap gangguan yang terjadi pada sekitar daerah yang terkena gangguan. Idealnya daerah proteksi harus saling *overlap*, sehingga setiap bagian dari sistem mendapatkan perlindungan. Antara *circuit breaker*

utama dengan *circuit breaker* cadangan (*backup*) harus di koordinasikan agar menghasilkan sistem proteksi yang sempurna.

Pada umumnya proteksi cadangan memiliki perlambatan waktu (*time delay*), hal ini bertujuan supaya proteksi utama dapat memproteksi terlebih dahulu, dan apabila proteksi utama gagal, maka proteksi cadangan yang akan beroperasi selanjutnya (Wahyudi, 2008). Untuk memenuhi fungsi tersebut maka waktu trip proteksi utama disetel lebih cepat daripada trip proteksi cadangan. Pengaman dengan kemampuan selektif yang baik dibutuhkan untuk mencapai keandalan sistem yang tinggi karena dengan pengamanan yang cepat dan tepat maka akan mengisolir gangguan seminimal mungkin. (Warrington, 1962).

### 2.3. *Miniatur Circuit Breaker*

*Miniatur circuit breaker* merupakan peralatan yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal atau gangguan seperti hubungan singkat. (Nashrudin, 2010).

Fungsi utamanya adalah sebagai alat pembuka dan penutup suatu rangkaian listrik ketika kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup saat terjadi gangguan (hubungan singkat) pada peralatan. Jadi, arus lebih yang disebabkan oleh beban lebih dan hubungan pendek dapat sekaligus diproteksi dalam *range* yang telah diatur pada *circuit breaker*.

#### 2.3.1. **Prinsip Kerja *Circuit Breaker* saat Hubungan Singkat**

Pemutusan ini terjadi apabila terjadi hubungan singkat yang menimbulkan arus yang sangat besar sehingga membutuhkan waktu yang relatif cepat untuk melindungi komponen - komponen listrik dengan melakukan pemutusan rangkaian (*trip*). Pemutusan rangkaian tidak menggunakan bimetal, tetapi dilakukan menggunakan sistem induksi elektromagnetik. Untuk cara kerjanya hampir sama dengan prinsip induktor. Apabila suatu induktor dialiri arus listrik yang besar menyebabkan induktor dalam MCB akan bergerak karena timbulnya induksi magnet. Arus listrik yang besar mengalir pada *coil* dalam waktu yang singkat akan menghasilkan induksi magnet pada *coil*. Akibatnya induksi magnetik antara terminal atas dengan terminal bawah akan terputus yang menyebabkan MCB menjadi *off*. *Trip* ini disebut *instantaneous pick up* pada pengaturan MCB *low voltage circuit breaker*.

#### 2.3.2. **Prinsip Kerja *Circuit Breaker* saat Beban Lebih**

Arus listrik dapat menyebabkan panas pada suatu tahanan, meskipun arus listrik tersebut nilainya kecil. Hal ini berarti arus yang mengalir pada sebuah bimetal yang terdapat pada MCB dapat

menimbulkan panas. Apabila arus yang melewati bimetal melebihi arus nominal MCB atau melebihi *rating* amperenya tersebut menyebabkan *bimetal* akan menjadi melengkung karena dua logam tersebut mempunyai koefisien muai yang berbeda. Apabila arus semakin melebihi arus nominalnya, maka yang terjadi *bimetal* akan semakin melengkung menyebabkan *bimetal* tersebut menyentuh pemicu dan menarik komponen trip agar tidak kontak dengan terminal atas dan bersamaan dengan itu tuas operasi atau *toggle* menjadi *off*.

### **2.3.3. Setting Circuit Breaker saat Hubungan Singkat**

*Setting circuit breaker* saat hubungan singkat disebut juga *short time pick up* pada pengaturan *circuit breaker*. Berdasarkan *British Standard 142*, *setting pick up* untuk hubungan singkat adalah 1,6 FLA s/d 0,8 Isc min. Hal ini dimaksudkan bahwa *circuit breaker* akan memproteksi sebelum terjadinya hubungan singkat minimal yaitu hubungan singkat satu fasa pada komponen tersebut.

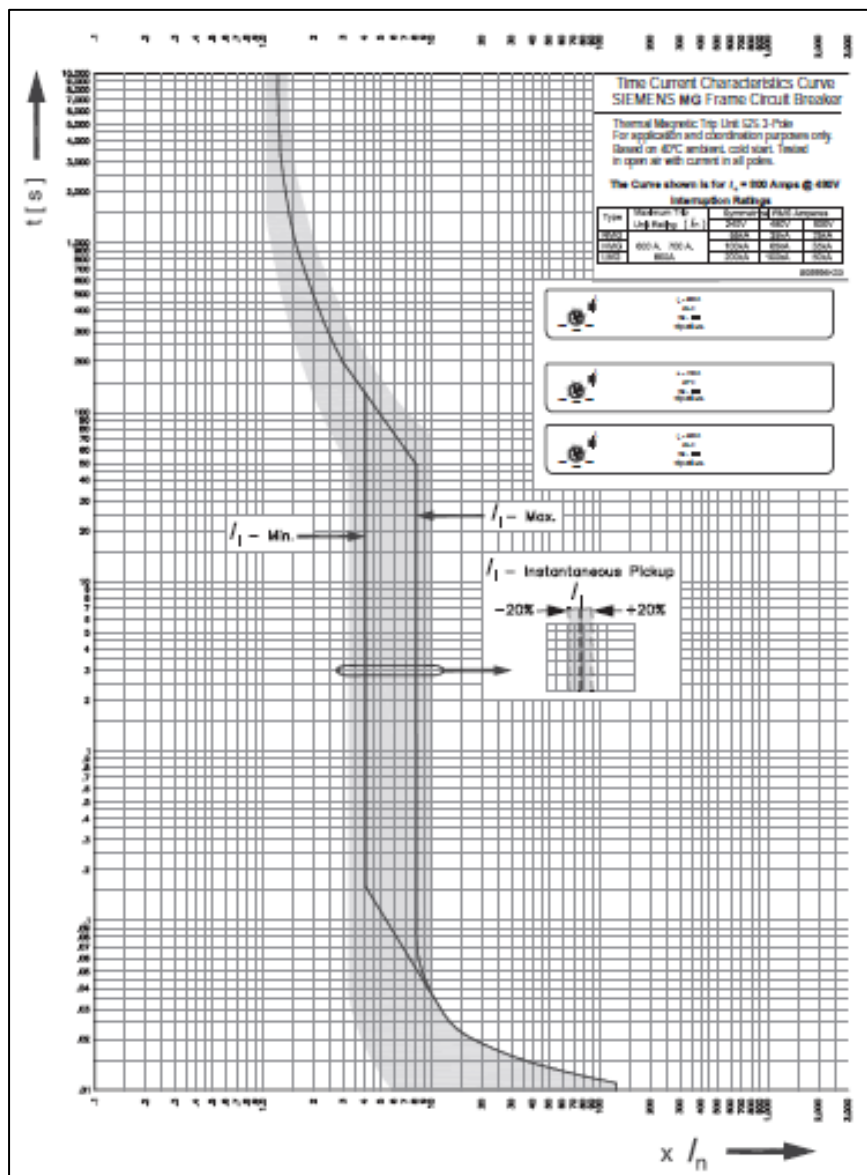
Sedangkan untuk memproteksi arus hubungan singkat maksimal atau disebut juga hubungan singkat tiga fasa, digunakan *setting instantaneous pick up*, dimana nilai *setting circuit breaker* harus dibawah nilai arus hubungan singkat tiga fasa pada komponen tersebut.

### **2.3.4. Setting Circuit Breaker saat Beban Lebih**

*Setting circuit breaker* saat hubungan singkat disebut juga *long time pick up* pada pengaturan *circuit breaker*. Berdasarkan *British Standard 142*, *setting pick up* untuk gangguan beban berlebih adalah 1,05 FLA – 1,4 FLA. Hal ini dimaksudkan bahwa ketika beban mencapai 105% maka sudah dianggap gangguan beban lebih. Sehingga toleransi maksimal beban lebih adalah jika motor beroperasi pada 140% pembebanan. Akan tetapi *setting circuit breaker* harus memproteksi sebelum beban mencapai 140% agar arus yang timbul tidak membakar lilitan motor.

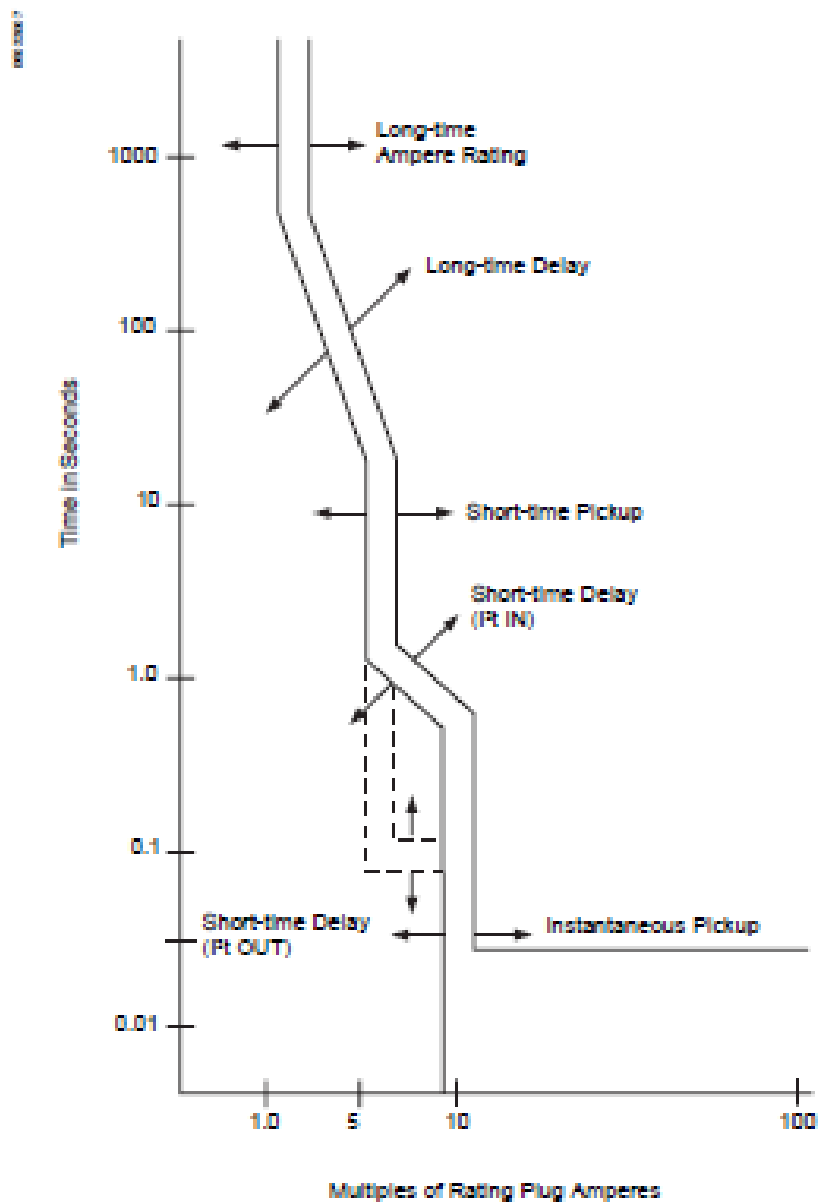
## **2.4. Karakteristik Kurva Arus Waktu**

Kurva arus-waktu merupakan kurva yang digunakan untuk menunjukkan seberapa cepat suatu breaker akan memutus suatu arus yang menyebabkan gangguan. Pada sumbu x (horizontal axis) menunjukkan nilai dari arus nominal untuk breaker. Pada sumbu y (vertical axis) menunjukkan waktu dalam detik.



**Gambar 2.1** Kurva Arus Waktu  
(Siemens, Basic of Circuit Breaker)

Karakteristik kurva arus waktu pada bagian bawah ke bagian kiri mengindikasikan daerah tidak adanya operasi dan pada bagian bawah ke bagian kanan mengindikasikan daerah operasi. karakteristik kurva ini dibutuhkan dalam mengkoordinasikan untuk memilih atau mengatur beberapa peralatan proteksi.



**Gambar 2.2** Karakteristik Kurva Arus Waktu  
(Data Bulletin Schneider Electric.2001)

Pengaturan waktu pemutusan dalam *circuit breaker* dikategorikan dalam beberapa jenis yaitu (Csanyi, 2016) :



a. *Continues Ampere (Ir)*

Nilai arus yang mengalir dari rangkaian atau peralatan tanpa menyebabkan *circuit breaker* memutus kontak (*trip*). Nilai *continues ampere* adalah prosentase dari arus nominal *circuit breaker*. Dan dapat dilakukan pengaturan nilai dari 20 sampai 100 persen dari arus nominal *circuit breaker*.

b. *Long time Delay*

*Long Time Delay* mengakibatkan *circuit breaker* menunda waktu untuk mengizinkan *temporary inrush current* (arus start motor) tanpa mengakibatkan *circuit breaker* memutus rangkaian. Pengaturan waktu tunda ini dari 2.2 sampai 27 detik pada enam kali nilai arus pengaturan (Ir). Long time delay umumnya terjadi pada gangguan beban lebih (*overload*).

c. *Short-time Pickup*

Digunakan jika terjadi arus hubung singkat yang nilainya kecil. Bekerja berdasarkan fungsi inverse dimana semakin besar nilai arus maka semakin cepat *circuit breaker* melepas kontak. Pengaturan waktu *short time pickup* dari 1.5 sampai 100 kali dari nilai arus pengaturan (Ir).

d. *Shot Time Delay*

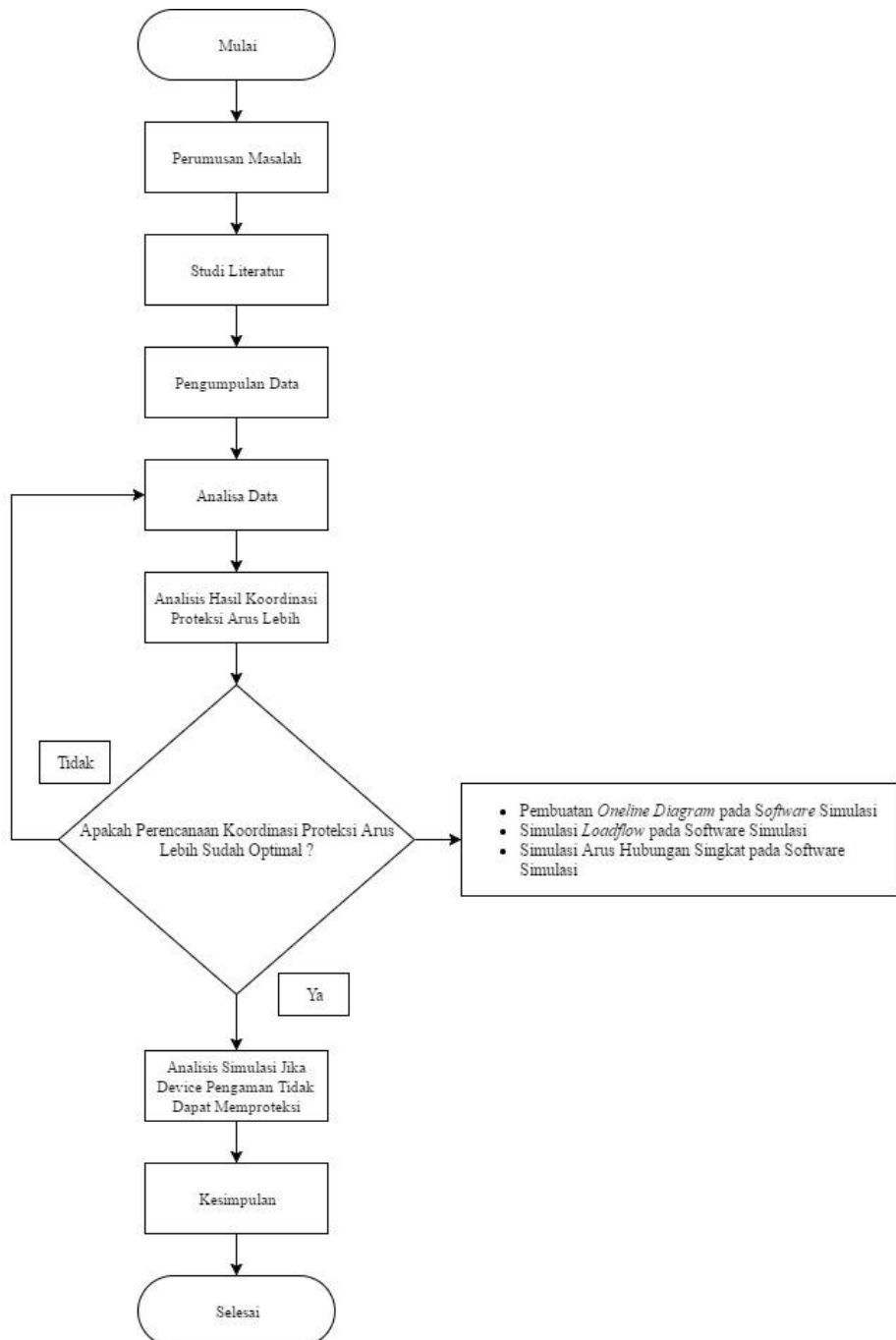
Pengaturan waktu dari *Short Time Delay* terkait dengan pengaturan waktu pemutusan *Short Time Pick Up*.

e. *Instantaneous*

Digunakan untuk memutus *circuit breaker* tanpa adanya waktu tunda dengan nilai arus yang mengalir 2 - 40 kali dari arus pengaturan (Ir). Interupsi seketika ini terjadi ketika nilai dari arus hubung singkat yang sangat besar, sehingga meminimalisir dampak kerusakan pada rangkaian dan peralatan lainnya.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN



Metode penelitian merupakan penjelasan mengenai langkah - langkah kegiatan secara garis besar yang harus dilakukan untuk menyelesaikan suatu penelitian. Metode penelitian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

### **1. Perumusan Masalah**

Perumusan masalah pada tugas akhir ini adalah merupakan hasil identifikasi permasalahan yang terjadi pada objek penelitian. Dalam tugas akhir ini, objek penelitian adalah proteksi arus lebih pada sistem kelistrikan di kapal menggunakan *software* simulasi. Fokus penelitian pada penelitian ini adalah mengenai pemilihan dan pengaturan *circuit breaker* yang tepat dan optimal pada motor – motor listrik di kapal untuk meminimalisir terjadinya arus hubungan singkat apabila terjadi suatu gangguan pada sistem distribusi listrik dan memproteksi komponen dari terjadinya gangguan beban berlebih.

### **2. Studi Literatur**

Studi literatur pada tugas akhir ini yaitu dengan mempelajari penelitian sebelumnya mengenai *circuit breaker* dan proteksi arus lebih pada beberapa sistem distribusi listrik beserta standard yang digunakan dalam penelitian sebelumnya. Selain itu tugas akhir ini juga menggunakan beberapa referensi pendukung seperti jurnal ilmiah, buku, dan diktat kuliah.

### **3. Pengumpulan Data**

Data yang digunakan dalam tugas akhir ini diperoleh dari suatu perusahaan yang meliputi *principal dimention*, *oneline diagram*, komponen – komponen yang membutuhkan daya listrik di kapal beserta besar dayanya, serta spesifikasi generator.

### **4. Analisis Data**

Selanjutnya adalah pembuatan rangkaian sistem kelistrikan pada *software* simulasi sesuai dengan data *oneline diagram* yang telah diperoleh guna mengetahui keadaan awal dari sistem kelistrikan kapal yang dianalisa dan mengetahui besar beban kelistrikan pada kapal yang dianalisa. Kemudian melakukan simulasi arus hubungan singkat tiga fasa sebagai arus hubungan singkat maksimum dan simulasi arus hubungan singkat satu fasa sebagai nilai arus hubungan singkat minimum.

### **5. Analisis Hasil Koordinasi Proteksi Arus Lebih**

Pada tahap ini koordinasi proteksi pada *circuit breaker* yang digunakan pada sistem kelistrikan kapal akan ditinjau kembali untuk mengetahui apakah perancangan koordinasi proteksi arus lebih sudah optimal. Pada tahap ini membahas pengaturan waktu *trip* dari *circuit breaker* yang dipilih dengan menganalisa kurva kerja *circuit breaker* dan kurva kerja motor yang digunakan sebagai studi kasus.

## **6. Analisis Device Pengaman Jika Device Pengaman Tidak Dapat Memproteksi**

Analisis ini membahas apabila *setting* yang telah ditetapkan tidak dapat memproteksi komponen pada saat kondisi operasional terjadi perubahan jumlah beban sementara karena kondisi tertentu sehingga *device* pengaman harus dilakukan pengaturan ulang agar dapat berfungsi optimal dalam memproteksi kondisi tersebut.

## **7. Kesimpulan dan Saran**

Pada bagian kesimpulan berisi rangkuman hasil analisa dan jawaban dari rumusan masalah. Saran berisikan mengenai hal – hal yang perlu dikaji lebih lanjut mengenai tugas akhir ini maupun hal lain serupa yang ingin dikaji lebih lanjut untuk penelitian berikutnya.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB IV**

### **ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini penulis membahas analisa perencanaan koordinasi proteksi arus lebih pada sistem kelistrikan kapal tanker. Langkah awal yang dilakukan adalah membuat *one line diagram* pada software simulasi sesuai dengan data yang telah didapatkan dari perusahaan. One line diagram yang telah dibuat akan digunakan untuk melakukan simulasi aliran daya dan hubungan singkat. Simulasi ini menjadi acuan dalam menentukan *circuit breaker* yang digunakan.

#### **4.1 Data Utama Kapal**

Adapun data utama kapal yang digunakan sebagai objek penelitian adalah :

|                     |                                |
|---------------------|--------------------------------|
| Jenis Kapal         | : 6500 LTDW Product Oil Tanker |
| Lpp                 | : 102 m                        |
| Lwl                 | : 103,8 m                      |
| Breadth             | : 19,2 m                       |
| Height              | : 9,3 m                        |
| Draft               | : 6,0 m                        |
| Service Speed       | : 12,0 m                       |
| Generator-set       | : 3 units, 350 kW, 60 Hz       |
| Emergency Generator | : 1 units, 70 kW, 60 Hz        |

#### **4.2 Simulasi Load Flow Analysis**

*Load Flow Analysis* digunakan untuk mengetahui kondisi awal dari perencanaan suatu sistem kelistrikan. Simulasi ini juga digunakan untuk mengetahui nilai setiap tegangan, memastikan bahwa tegangan tidak dalam kondisi *overvoltage* maupun *undervoltage*.

#### **4.3 Hasil Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Setiap Bus**

Nilai arus hubungan singkat dapat diperoleh dengan melakukan simulasi *short circuit* pada empat kondisi yaitu pada saat berlayar, bongkar muat, tambat, dan *manuvering*. Hasil simulasi *short circuit* tiga fasa ini disebut nilai *Isc* maksimum karena kebutuhan arus terbesar dalam suatu sistem kelistrikan adalah pada hubungan tiga fasa dan simulasi *short circuit* antar fasa disebut nilai *Isc* minimum karena kebutuhan arus terkecil dalam suatu rangkaian sistem kelistrikan ada pada hubungan antar fasa.

*Isc* maksimum digunakan untuk menentukan studi kasus, dan nilai *Isc* minimum digunakan dalam perhitungan *setting circuit breaker*. Berikut ini adalah nilai arus hubungan singkat pada kapal tanker.

#### 4.3.1 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus MSB 450V

Tabel 4.1 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus MSB 450V

| No. | Jenis Peralatan        | Nilai Arus Hubungan Singkat Pada Kondisi |                 |                   |             |
|-----|------------------------|--|-----------------|-------------------|-------------|
|     |                        | Berlayar (kA)                            | Manuvering (kA) | Bongkar Muat (kA) | Tambat (kA) |
| 1   | Generator 1            | 3,29                                     | 3,29            | 3,29              | 3,29        |
| 2   | Generator 2            | 3,29                                     | 3,29            | 3,29              | 3,29        |
| 3   | Generator 3            | 3,29                                     | 3,29            | 3,29              | 3,29        |
| 4   | AC – Plant             | 0,23                                     | 0,23            | 0,23              | 0,23        |
| 5   | Air Compressor 1       | 0,09                                     | 0,09            |                   |             |
| 6   | Air Compressor 2       | 0,09                                     | 0,09            |                   |             |
| 7   | Bilge Pump             | 0,018                                    |                 |                   | 0,018       |
| 8   | Bilge and Ballast Pump | 0,48                                     | 0,48            |                   | 0,48        |
| 9   | Cargo Handling Crane   |  |                 | 0,467             |             |
| 10  | Cargo Oil Pump 1       |  |                 | 1,06              |             |
| 11  | Cargo Oil Pump 2       |  |                 | 1,06              |             |
| 12  | Cargo Oil Pump 3       |  |                 | 1,06              |             |
| 13  | AE SW Cooling Pump 1   | 0,032                                    | 0,032           | 0,032             | 0,032       |
| 14  | AE SW Cooling Pump 2   | 0,032                                    | 0,032           | 0,032             | 0,032       |
| 15  | ME SW Cooling Pump 1   | 0,075                                    | 0,075           |                   |             |
| 16  | ME SW Cooling Pump 2   | 0,075                                    | 0,075           |                   |             |



Tabel 4.2 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus MSB 450V (lanjutan)

| No. | Jenis Peralatan              | Nilai Arus Hubungan Singkat Pada Kondisi |                 |                   |             |
|-----|------------------------------|--|-----------------|-------------------|-------------|
|     |                              | Berlayar (kA)                            | Manuvering (kA) | Bongkar Muat (kA) | Tambat (kA) |
| 17  | HT FW Cooling Standby Pump   | 0,084                                    | 0,084           |                   |             |
| 18  | Fire and GS Pump             |  |                 | 0,48              |             |
| 19  | FO Feed Pump 1               | 0,011                                    | 0,011           | 0,014             |             |
| 20  | FO Feed Pump 2               | 0,011                                    | 0,011           | 0,014             |             |
| 21  | Hot Water Circulating Pump 1 | 0,022                                    | 0,022           | 0,022             | 0,022       |
| 22  | Hot Water Circulating Pump 2 | 0,022                                    | 0,022           | 0,022             | 0,022       |
| 23  | LO Purifier 1                | 0,053                                    | 0,053           |                   |             |
| 24  | LO Purifier 2                | 0,053                                    | 0,053           |                   |             |
| 25  | LO Transfer Pump             |  |                 |                   | 0,017       |
| 26  | MDO Purifier 1               | 0,026                                    | 0,026           |                   |             |
| 27  | MDO Purifier 2               | 0,026                                    | 0,026           |                   |             |
| 28  | MDO Transfer Pump 1          | 0,009                                    | 0,009           | 0,009             | 0,009       |
| 29  | MDO Transfer Pump 2          | 0,009                                    | 0,009           | 0,009             | 0,009       |
| 30  | ME Preheating Pump           |  |                 |                   | 0,007       |
| 31  | Mooring Winch 1              |  | 0,106           |                   |             |

Tabel 4.3 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus MSB 450V (lanjutan)

| No. | Jenis Peralatan           | Nilai Arus Hubungan Singkat Pada Kondisi |                 |                   |               |
|-----|---------------------------|--|-----------------|-------------------|---------------|
|     |                           | Berlayar (kA)                            | Manuvering (kA) | Bongkar Muat (kA) | Tambat (kA)   |
| 32  | Mooring Winch 2           |  | 0,106           |                   |               |
| 33  | Oily Water Separator      | 0,033                                    | 0,033           |                   | 0,033         |
| 34  | FW Pressure Set           | 0,029                                    | 0,029           | 0,029             | 0,029         |
| 35  | SW Pressure Set           | 0,029                                    | 0,029           | 0,029             | 0,029         |
| 36  | SW Service Pump 1         | 0,053                                    | 0,053           | 0,053             | 0,053         |
| 37  | SW Service Pump 2         | 0,053                                    | 0,053           | 0,053             | 0,053         |
| 38  | Segregated Ballast Pump 1 |  |                 | 0,102             |               |
| 39  | Segregated Ballast Pump 2 |  |                 | 0,102             |               |
| 40  | Sludge Pump               |  |                 |                   | 0,007         |
| 41  | Steering Gear Pump 1      | 0,061                                    | 0,038           |                   |               |
| 42  | Stripping Pump 1          |  |                 | 0,173             |               |
| 43  | Stripping Pump 2          |  |                 | 0,173             |               |
| 44  | Engine Room Fan 1         | 0,106                                    | 0,106           | 0,057             | 0,057         |
| 45  | Engine Room Fan 2         | 0,106                                    | 0,106           | 0,057             | 0,057         |
| 46  | Pump Room Fan             |  |                 | 0,033             | 0,033         |
| 47  | Windlass 1                |  | 0,499           |                   |               |
| 48  | Windlass 2                |  | 0,499           |                   |               |
|     | <b>TOTAL</b>              | <b>11,788</b>                            | <b>12,957</b>   | <b>15,242</b>     | <b>11,099</b> |

#### 4.3.2 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus ESB 450V

Tabel 4.4 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus ESB 450V

| No. | Jenis Peralatan                | Nilai Arus Hubungan Singkat Pada Kondisi |                 |                   |              |
|-----|--------------------------------|--|-----------------|-------------------|--------------|
|     |                                | Berlayar (kA)                            | Manuvering (kA) | Bongkar Muat (kA) | Tambat (kA)  |
| 1   | Emergency Genset Component Fan |  |                 | 0,01              |              |
| 2   | Pump Room Fan                  | 0,033                                    | 0,033           | 0,033             | 0,033        |
|     | <b>TOTAL</b>                   | <b>0,033</b>                             | <b>0,033</b>    | <b>0,034</b>      | <b>0,033</b> |

#### 4.3.3 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus ESB 220V

Tabel 4.5 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus ESB 220V

| No. | Jenis Peralatan      | Nilai Arus Hubungan Singkat Pada Kondisi |                 |                   |             |
|-----|----------------------|--|-----------------|-------------------|-------------|
|     |                      | Berlayar (kA)                            | Manuvering (kA) | Bongkar Muat (kA) | Tambat (kA) |
| 1   | Steering Gear Pump 2 | 0,061                                    | 0,038           |                   |             |
|     | <b>TOTAL</b>         | <b>0,061</b>                             | <b>0,038</b>    | -                 | -           |

#### 4.3.4 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus Distribution Board 220V

Tabel 4.6 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus Distribution Board 220V

| No. | Jenis Peralatan     | Nilai Arus Hubungan Singkat Pada Kondisi |                 |                   |             |
|-----|---------------------|--|-----------------|-------------------|-------------|
|     |                     | Berlayar (kA)                            | Manuvering (kA) | Bongkar Muat (kA) | Tambat (kA) |
| 1   | Provision Store Fan | 0,009                                    | 0,009           | 0,009             | 0,009       |
| 2   | Hospital Fan        | 0,009                                    | 0,009           | 0,009             | 0,009       |

Tabel 4.7 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus Distribution Board 220V (lanjutan)

| No. | Jenis Peralatan          | Nilai Arus Hubungan Singkat Pada Kondisi |                 |                   |              |
|-----|--------------------------|--|-----------------|-------------------|--------------|
|     |                          | Berlayar (kA)                            | Manuvering (kA) | Bongkar Muat (kA) | Tambat (kA)  |
| 3   | CO <sub>2</sub> Room Fan | 0,009                                    | 0,009           | 0,009             | 0,009        |
| 4   | Foam Tank Room Fan       |  |                 | 0,009             |              |
| 5   | Workshop Fan             |  |                 |                   | 0,049        |
|     | <b>TOTAL</b>             | <b>0,027</b>                             | <b>0,027</b>    | <b>0,036</b>      | <b>0,076</b> |

#### 4.3.5 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus Distribution Board 440V

Tabel 4.8 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus Distribution Board 440V

| No. | Jenis Peralatan        | Nilai Arus Hubungan Singkat Pada Kondisi |                 |                   |             |
|-----|------------------------|--|-----------------|-------------------|-------------|
|     |                        | Berlayar (kA)                            | Manuvering (kA) | Bongkar Muat (kA) | Tambat (kA) |
| 1   | Toilet Boat Deck Fan   | 0,72                                     | 0,72            | 0,72              | 0,72        |
| 2   | Toilet Bridge Deck Fan | 0,044                                    | 0,044           | 0,044             | 0,044       |
| 3   | Paint Store Fan        | 0,006                                    | 0,006           | 0,006             | 0,006       |
| 4   | Laundry Fan            | 0,006                                    | 0,006           | 0,006             | 0,006       |
| 5   | Galley Fan             | 0,018                                    | 0,018           | 0,018             | 0,018       |
| 6   | AHU Room Fan           | 0,006                                    | 0,006           | 0,006             | 0,006       |
| 7   | Purifier Room Fan      | 0,026                                    | 0,026           | 0,026             | 0,026       |
| 8   | Provision Crane        |  |                 |                   | 0,022       |

Tabel 4.9 Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa pada Bus Distribution Board 440V (lanjutan)

| No. | Jenis Peralatan   | Nilai Arus Hubungan Singkat Pada Kondisi |                 |                   |              |
|-----|-------------------|--|-----------------|-------------------|--------------|
|     |                   | Berlayar (kA)                            | Manuvering (kA) | Bongkar Muat (kA) | Tambat (kA)  |
| 9   | Provision Crane 2 |  |                 |                   | 0,022        |
| 10  | Sludge Crane 1    |  |                 | 0,04              |              |
| 11  | Sludge Crane 2    |  |                 | 0,04              |              |
| 12  | STG Room Fan      | 0,014                                    | 0,014           | 0,014             |              |
|     | <b>TOTAL</b>      | <b>0,192</b>                             | <b>0,192</b>    | <b>0,272</b>      | <b>0,222</b> |

#### 4.3.6 Total Nilai Arus Hubungan Singkat

Tabel 4. 10 Total Nilai Arus Hubungan Singkat Tiga Fasa

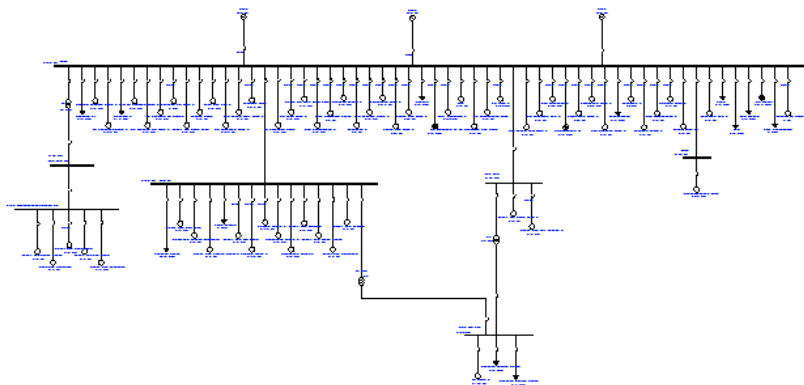
| No. | Jenis Bus               | Nilai Arus Hubungan Singkat Pada Kondisi |                 |                   |              |
|-----|-------------------------|--|-----------------|-------------------|--------------|
|     |                         | Berlayar (kA)                            | Manuvering (kA) | Bongkar Muat (kA) | Tambat (kA)  |
| 8   | MSB 450V                | 11,788                                   | 12,957          | 15,242            | 11,099       |
| 9   | ESB 450V                | 0,033                                    | 0,033           | 0,034             | 0,033        |
| 10  | ESB 220V                | 0,061                                    | 0,038           |                   |              |
| 11  | Distribution Board 220V | 0,027                                    | 0,027           | 0,036             | 0,076        |
| 12  | Distribution Board 440V | 0,192                                    | 0,192           | 0,272             | 0,222        |
|     | <b>TOTAL</b>            | <b>12,101</b>                            | <b>13,247</b>   | <b>15,584</b>     | <b>11,43</b> |

Dari hasil simulasi short circuit tiga fasa diatas, dapat diketahui beberapa komponen yang memiliki nilai arus hubungan singkat lebih besar secara signifikan dibandingkan beberapa komponen yang lain, komponen yang berperan besar dalam kelangsungan operasional kapal dengan nilai arus hubungan singkat yang besar tersebut dijadikan sebagai studi kasus.

Berdasarkan tabel diatas, maka diperoleh beberapa komponen yang akan digunakan sebagai studi kasus untuk mengevaluasi koordinasi

dari pengaman pada sistem kelistrikan kapal tanker. Komponen yang dipilih sebagai skenario studi kasus adalah komponen yang memberikan kontribusi arus yang cukup besar secara signifikan kepada bus yang memiliki gangguan dibandingkan dengan komponen yang lain. Berikut ini adalah beberapa skenario studi kasus yang akan dibahas :

1. Skenario 1 : *Windlass 1* dengan kontribusi arus hubungan singkat sebesar 0,499 kA pada kondisi *manuvering*.
2. Skenario 2 : *Bilge and ballast pump* dengan kontribusi arus hubungan singkat sebesar 0,48 kA pada kondisi berlayar, *manuvering*, dan tambat.
3. Skenario 3 : *Cargo hose handling crane* dengan kontribusi arus hubungan singkat sebesar 0,467 kA pada kondisi bongkar muat.
4. Skenario 4 : *Cargo oil pump 3* dengan kontribusi arus hubungan singkat sebesar 1,06 kA pada kondisi bongkar muat.
5. Skenario 5 : *Fire and GS pump* dengan kontribusi arus hubungan singkat sebesar 0,48 kA pada kondisi bongkar muat.



Gambar 4.1 Oneline Diagram Oil Tanker 6500 LTDW\*

Berdasarkan pemilihan skenario studi kasus diatas maka dapat dilihat pada rangkaian oneline diagram, komponen – komponen yang dijadikan sebagai studi kasus berada pada bus yang paling dekat dengan generator. Sehingga diperoleh  $I_{sc}$  minimum dari bus MSB 450V pada kondisi tambat adalah 3,97 kA, pada kondisi *manuvering* 5,25 kA, dan pada kondisi bongkar muat adalah 11,01 kA. Nilai tersebut akan digunakan sebagai pemilihan *circuit breaker*. Maka, besar nilai arus hubungan singkat dipengaruhi oleh besar daya pada setiap peralatan dan jumlah beban yang digunakan pada setiap kondisi.

#### 4.4 Pengaturan Circuit Breaker

Setelah mendapatkan studi kasus, selanjutnya mengatur *setting circuit breaker* yang menyesuaikan dengan FLA (*full load ampere*) komponen, tegangan

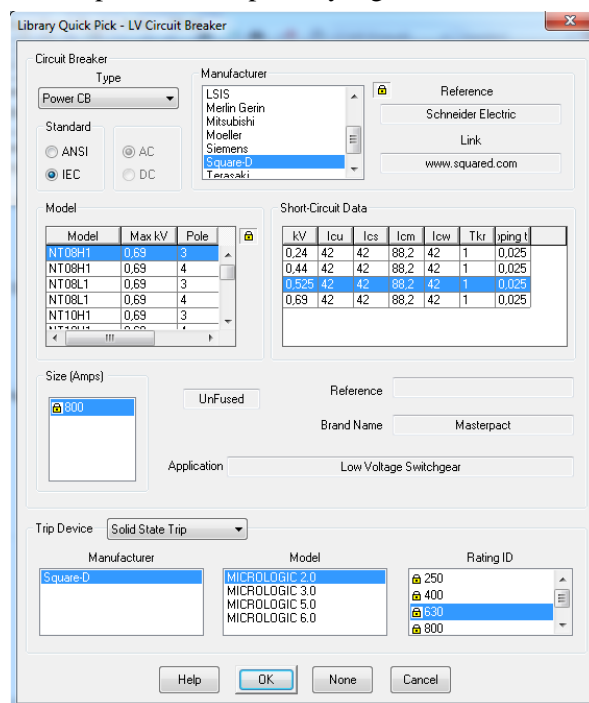
bus, dan nilai  $I_{sc}$  minimal agar *circuit breaker* dapat *trip* sebelum mencapai nilai arus hubungan singkat minimal.

#### 4.4.1. Menentukan Spesifikasi Circuit Breaker

Menentukan spesifikasi *circuit breaker* dilakukan sesuai dengan fungsi dan kebutuhan dengan mempertimbangkan koordinasi proteksi yang direncanakan. Ketiga generator utama sebaiknya menggunakan spesifikasi *circuit breaker* yang sama untuk memudahkan koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan. Selain itu, *circuit breaker* yang dipilih sebagai proteksi untuk generator utama, harus bisa sebagai proteksi back up untuk komponen – komponen yang sedang terhubung dengan generator tersebut.

Dalam menentukan spesifikasi dan setting *circuit breaker*, sebaiknya mendahulukan pemilihan *circuit breaker* untuk beban - beban terlebih dahulu kemudian melakukan setting *circuit breaker* generator dengan menyesuaikan setting dari beban – beban yang terhubung. Hal ini bertujuan untuk membuat setting trip tercepat pada *circuit breaker* yang melindungi beban jika terjadi gangguan pada bus, sehingga koordinasi proteksi arus lebih ini dapat meminimalisir kerusakan pada alat – alat di kapal.

Pembahasan kali ini akan menunjukkan cara pemilihan *circuit breaker* pada generator yang dapat mewakili cara pemilihan *circuit breaker* untuk komponen – komponen yang lain.



Gambar 4.2 Pemilihan Spesifikasi circuit Breaker untuk Generator 350 kW

Gambar 4.2 diatas menjelaskan cara pemilihan spesifikasi *circuit breaker* untuk generator 350 kW. Pada bagian *manufacturer* digunakan untuk memilih merk *circuit breaker* yang akan digunakan, kemudian pada *short-circuit data* dipilih nilai kV diatas nilai kV bus. Pada perencanaan kali ini menggunakan 0,555 kV karena tegangan bus utama adalah 0,45 kV.

Pada kolom *rating ID* dipilih nilai diatas FLA (*full load ampere*) komponen yang diproteksi. Pada perencanaan kali ini menggunakan rating ID dengan nilai 630 untuk *circuit breaker* generator karena FLA (*full load ampere*) generator adalah 561,3 A.

#### 4.4.2. Menentukan Setting Trip Device Circuit Breaker

Penentuan *setting trip device* berkaitan dengan kurva arus waktu. Hal yang harus diketahui dalam perencanaan *circuit breaker* adalah nilai *setting* arus long time pick up dan short time pick up pada *circuit breaker*. Sesuai dengan Standard British 142 bahwa range dari setting long time pick up adalah 1,05 – 1,4 FLA dan untuk setting short time pick up adalah 1,6 FLA – 0,8 Isc minimum.

##### 4.4.2.1. Perhitungan Setting Trip Device Skenario 1

Tabel 4.11 Perhitungan untuk Arus Long Time Pick Up Skenario 1

| NO | Kode CB | FLA (A) | 1,05 FLA (A) | Iset (A) | 1,4 FLA (A) |
|----|---------|---------|--------------|----------|-------------|
| 1. | CB G2   | 561,3   | 589,365      | 630      | 785,82      |
| 2. | CB G3   | 76,61   | 589,365      | 630      | 785,82      |
| 3. | CB B13  | 76,61   | 80,44        | 100      | 107,25      |

Berdasarkan tabel 4.11 diatas, untuk skenario 1 yaitu CB B13 yang memproteksi motor windlass akan mulai menunda waktu jalannya arus ketika beban motor mencapai 105% dan akan trip jika arus yang masuk menuju beban telah mencapai 100 A karena beban berlebih.

Tabel 4.12 Perhitungan untuk Arus Short Time Pick Up Skenario 1

| NO | Kode CB | FLA (A) | Isc min (A) | 1,6 FLA (A) | Iset (A) | 0,8 Isc <sub>min</sub> (A) |
|----|---------|---------|-------------|-------------|----------|----------------------------|
| 1. | CB G2   | 561,3   | 2980        | 898,08      | 1260     | 2384                       |
| 2. | CB G3   | 561,3   | 2980        | 898,08      | 1260     | 2384                       |
| 3. | CB B13  | 76,61   | 382         | 122,576     | 250      | 305,6                      |



Berdasarkan tabel 4.12 diatas, untuk skenario 1 yaitu CB B13 yang memproteksi motor windlass akan trip jika arus yang ditarik oleh motor windlass mencapai 250 A dimana arus lebih tidak disebabkan oleh beban berlebih.

#### 4.4.2.2. Perhitungan Setting Trip Device Skenario 2

Tabel 4.13 Perhitungan untuk Arus Long Time Pick Up Skenario 2

| NO | Kode<br>CB | FLA<br>(A) | I,05<br>FLA<br>(A) | Iset<br>(A) | I,4<br>FLA<br>(A) |
|----|------------|------------|--------------------|-------------|-------------------|
| 1. | CB G3      | 561,3      | 589,365            | 630         | 785,82            |
| 2. | CB B18     | 76,61      | 80,44              | 100         | 107,25            |
| 3. | CB 22      | 76,61      | 80,44              | 100         | 107,25            |

Berdasarkan tabel 4.13 diatas, untuk skenario 2 yaitu CB 22 yang memproteksi motor bilge and ballast pump akan mulai menunda waktu jalannya arus ketika beban motor mencapai 105% dan akan trip jika arus yang masuk menuju beban telah mencapai 100 A karena beban berlebih.

Tabel 4.14 Perhitungan untuk Arus Short Time Pick Up Skenario 2

| NO | Kode<br>CB | FLA<br>(A) | Isc<br>min<br>(A) | 1,6<br>FLA<br>(A) | Iset<br>(A) | 0,8<br>Isc <sub>min</sub><br>(A) |
|----|------------|------------|-------------------|-------------------|-------------|----------------------------------|
| 1. | CB G3      | 561,3      | 2980              | 898,08            | 1260        | 2384                             |
| 2. | CB B18     | 561,3      | 365               | 122,567           | 262,5       | 292                              |
| 3. | CB 22      | 76,61      | 365               | 122,576           | 250         | 292                              |

Berdasarkan tabel 4.14 diatas, untuk skenario 2 yaitu CB 22 yang memproteksi motor bilge and ballast pump akan trip jika arus yang ditarik oleh motor bilge and ballast pump mencapai 250 A dimana arus lebih tidak disebabkan oleh beban berlebih.

#### 4.4.2.3. Perhitungan Setting Trip Device Skenario 3

Tabel 4.15 Perhitungan untuk Arus Long Time Pick Up Skenario 3

| NO | Kode<br>CB | FLA<br>(A) | I,05<br>FLA<br>(A) | Iset<br>(A) | I,4<br>FLA<br>(A) |
|----|------------|------------|--------------------|-------------|-------------------|
| 1. | CB G1      | 561,3      | 589,365            | 630         | 785,82            |
| 2. | CB G2      | 561,3      | 589,365            | 630         | 785,82            |
| 3. | CB A15     | 74,2       | 77,91              | 100         | 103,88            |

Berdasarkan tabel 4.15 diatas, untuk skenario 3 yaitu CB A15 yang memproteksi motor *cargo hose handling crane* akan mulai menunda waktu jalannya arus ketika beban motor mencapai 105% dan akan trip jika arus yang masuk menuju beban telah mencapai 100 A karena beban berlebih.

Tabel 4.16 Perhitungan untuk Arus Short Time Pick Up Skenario 3

| NO | Kode CB | FLA (A) | Isc min (A) | 1,6 FLA (A) | Iset (A) | 0,8 Isc <sub>min</sub> (A) |
|----|---------|---------|-------------|-------------|----------|----------------------------|
| 1. | CB G2   | 561,3   | 2980        | 898,08      | 1260     | 2384                       |
| 2. | CB G3   | 561,3   | 2980        | 898,08      | 1260     | 2384                       |
| 3. | CB A15  | 76,61   | 357         | 118,72      | 250      | 285,6                      |

Berdasarkan tabel 4.16 diatas, untuk skenario 3 yaitu CB A15 yang memproteksi motor *cargo hose handling crane* akan trip jika arus yang ditarik oleh motor *cargo hose handling crane* mencapai 250 A dimana arus lebih tidak disebabkan oleh beban berlebih.

#### 4.4.2.4. Perhitungan Setting Trip Device Skenario 4

Tabel 4.17 Perhitungan untuk Arus Long Time Pick Up Skenario 4

| NO | Kode CB | FLA (A) | I,05 FLA (A) | Iset (A) | I,4 FLA (A) |
|----|---------|---------|--------------|----------|-------------|
| 1. | CB G1   | 561,3   | 589,365      | 630      | 785,82      |
| 2. | CB G2   | 561,3   | 589,365      | 630      | 785,82      |
| 3. | CB A9   | 168,4   | 77,91        | 100      | 103,88      |

Berdasarkan tabel 4.17 diatas, untuk skenario 4 yaitu CB A9 yang memproteksi motor *cargo oil pump* akan mulai menunda waktu jalannya arus ketika beban motor mencapai 105% dan akan trip jika arus yang masuk menuju beban telah mencapai 100 A karena beban berlebih.

Tabel 4.18 Perhitungan untuk Arus Short Time Pick Up Skenario 4

| NO | Kode CB | FLA (A) | Isc min (A) | 1,6 FLA (A) | Iset (A) | 0,8 Isc <sub>min</sub> (A) |
|----|---------|---------|-------------|-------------|----------|----------------------------|
| 1. | CB G1   | 561,3   | 2980        | 898,08      | 1260     | 2384                       |
| 2. | CB G2   | 561,3   | 2980        | 898,08      | 1260     | 2384                       |
| 3. | CB A9   | 168,4   | 840         | 269,44      | 250      | 672                        |

Berdasarkan tabel 4.18 diatas, untuk skenario 4 yaitu CB A9 yang memproteksi motor cargo oil pump akan trip jika arus yang ditarik oleh motor cargo oil pump mencapai 250 A dimana arus lebih tidak disebabkan oleh beban berlebih.

#### 4.4.2.5. Perhitungan Setting Trip Device Skenario 5

Tabel 4.19 Perhitungan untuk Arus Long Time Pick Up Skenario 5

| NO | Kode CB | FLA (A) | I,05 FLA (A) | Iset (A) | I,4 FLA (A) |
|----|---------|---------|--------------|----------|-------------|
| 1. | CB G1   | 561,3   | 589,365      | 630      | 785,82      |
| 2. | CB G2   | 561,3   | 589,365      | 630      | 785,82      |
| 3. | CB A21  | 76,17   | 79,98        | 100      | 106,64      |

Berdasarkan tabel 4.19 diatas, untuk skenario 5 yaitu CB A21 yang memproteksi motor fire and GS pump akan mulai menunda waktu jalannya arus ketika beban motor mencapai 105% dan akan trip jika arus yang masuk menuju beban telah mencapai 100 A karena beban berlebih.

Tabel 4.20 Perhitungan untuk Short Time Pick Up Skenario 5

| NO | Kode CB | FLA (A) | Isc min (A) | 1,6 FLA (A) | Iset (A) | 0,8 Isc <sub>min</sub> (A) |
|----|---------|---------|-------------|-------------|----------|----------------------------|
| 1. | CB G1   | 561,3   | 2980        | 898,08      | 1260     | 2384                       |
| 2. | CB G2   | 561,3   | 2980        | 898,08      | 1260     | 2384                       |
| 3. | CB A21  | 76,17   | 367         | 121,87      | 250      | 293,6                      |

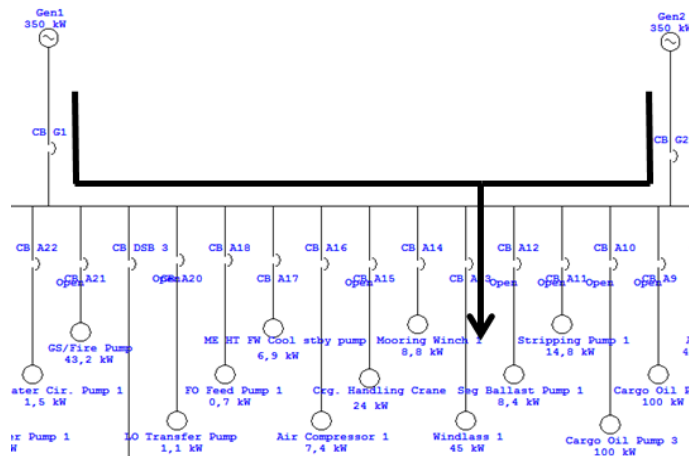
Berdasarkan tabel 4.20 diatas, untuk skenario 5 yaitu CB A21 yang memproteksi motor fire and GS pump akan trip jika arus yang ditarik oleh motor fire and GS pump mencapai 250 A dimana arus lebih tidak disebabkan oleh beban berlebih.

### 4.5 Analisis Koordinasi Pengaman

Pemasangan pengaman digunakan untuk melindungi komponen dari kerusakan yang diakibatkan oleh mengalirnya arus gangguan yang besar pada peralatan serta meminimalisir daerah yang mengalami pemutusan aliran daya karena gangguan pada peralatan lain. Seperti yang telah dijelaskan pada bab 2, bahwa kurva arus waktu dalam *software* simulasi berpedoman pada FLA (*full load ampere*), sehingga nilai arus pada kurva arus waktu dalam hal ini adalah nilai arus FLA.

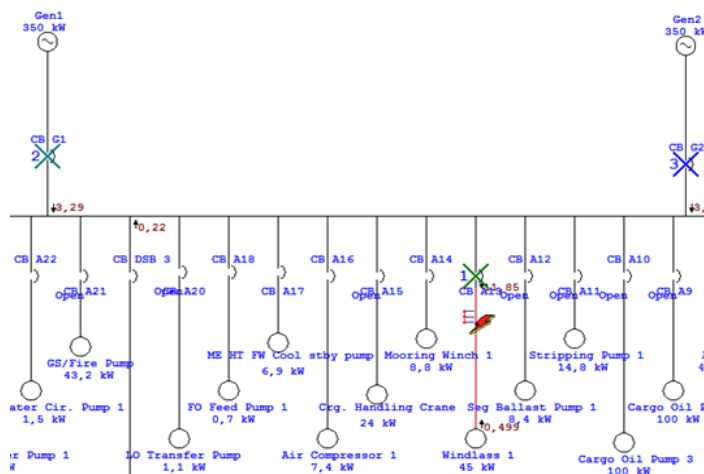
#### 4.5.1. Analisis Skenario 1

Skenario pertama adalah pada kondisi *manuvering*, dengan peralatan *windlass* yang mengalami gangguan. Total kebutuhan daya pada kondisi manuvering adalah 350,7 kW, sehingga diperlukan 2 generator untuk mensuplai daya.



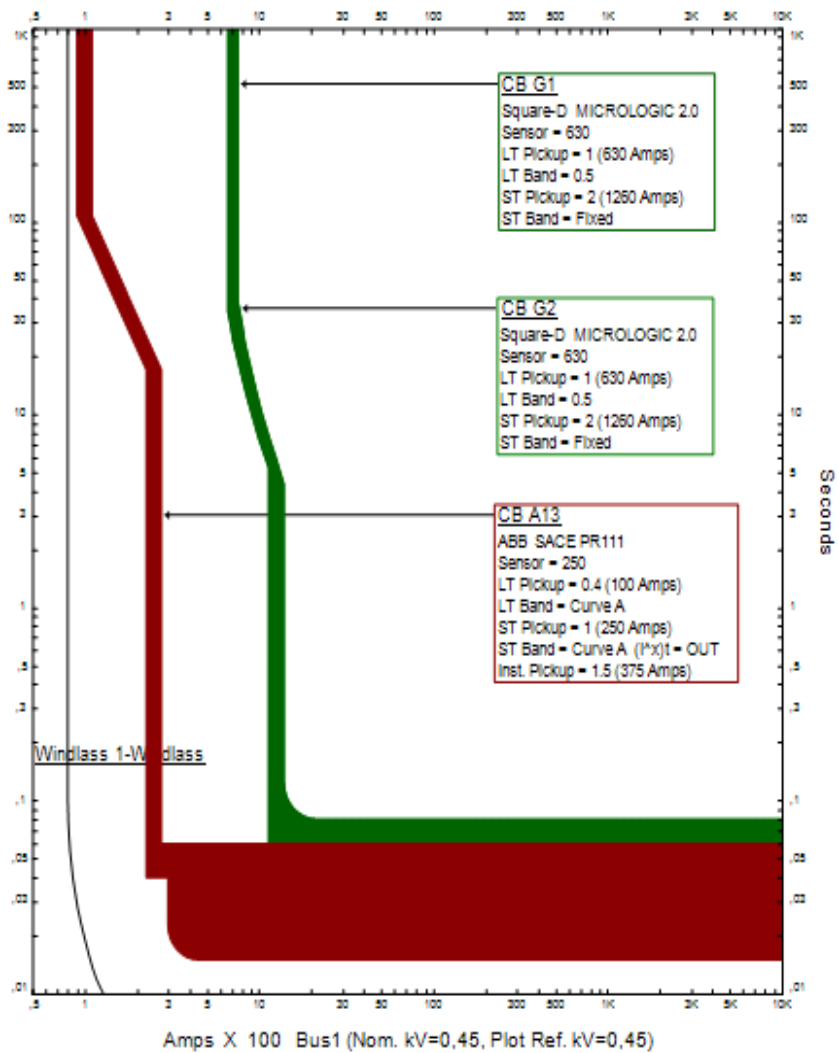
Gambar 4.3 Online Diagram Skenario 1

Dari gambar online diagram diatas, *windlass* sengaja diberikan gangguan hubungan singkat dengan menggunakan *star – protective device coordination* pada *software* simulasi. Maka, *circuit breaker* yang akan dilakukan pengaturan koordinasi proteksi yaitu *circuit breaker* B13, G2, dan G3.



Gambar 4.4 Urutan Pemutusan Kontak *Circuit Breaker* Skenario 1

CB A13 merupakan pengaman pertama yang berfungsi untuk mengamankan motor *windlass* apabila terjadi gangguan pada bus MSB 450V. CB G1 merupakan pengaman dari generator 1 sekaligus pengaman *back up* apabila CB A13 gagal memproteksi motor *windlass*. CB G1 dan G2 adalah pengaman untuk generator sekaligus berfungsi sebagai pengaman *back up* apabila CB A13 gagal memproteksi gangguan hubungan singkat.



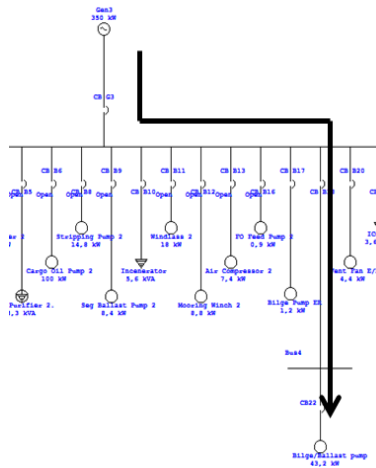
**Gambar 4.5** Kurva Arus Waktu Skenario 1

Output dari simulasi skenario 1 menghasilkan kurva kerja pada gambar 4.5 yang menjelaskan kerja *circuit breaker* A13, G1, G2, dan kurva arus motor *windlass* sebagai berikut :

- Kurva motor *windlass* dari bawah keatas adalah nilai arus *start* motor *windlass* yang kemudian kembali pada nilai arus FLA nya dalam waktu 0,1 detik.
- Kurva CB A13 yang berwarna merah adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi motor *windlass*. *Circuit breaker* ini memiliki setting *instantaneous pick up* dimana *circuit breaker* akan *trip* dalam waktu 0,06 detik jika terjadi arus lebih karena hubungan singkat setidaknya sebesar 375 A tanpa ada waktu tunda. Hal ini bertujuan agar komponen dapat langsung diamankan karena arus yang sangat tinggi dapat merusak komponen.
- Kurva CB A13 memiliki karakteristik kecepatan long time pick up 0,4 detik pada arus 100 A. Artinya ketika motor *windlass* terjadi gangguan beban lebih yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 100 A, maka *circuit breaker* akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 0,4 detik dengan delay waktu trip 20 – 100 detik. Sehingga, ketika terjadi beban lebih, maka *circuit breaker* tidak langsung memutuskan arus kecuali apabila dalam waktu 20 – 100 detik nilai arus tidak segera menurun.
- Kurva CB A13 juga memiliki karakteristik kecepatan short time pick up 1 detik pada arus 250 A. Artinya ketika aliran arus pada motor *windlass* mencapai 250 A, maka *circuit breaker* akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 1 detik dan langsung terjadi *trip* saat itu juga.
- Kurva CB G1 yang berwarna hijau adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi generator 1 sekaligus sebagai pengaman *back up* apabila CB A13 gagal memproteksi motor *windlass*. *Circuit breaker* akan *trip* dalam waktu 0,08 detik jika arus yang mengalir melewati batas setting arus *circuit breaker* G1 yaitu 1260 A. Ketika generator terjadi *overload* yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 630 A, maka *circuit breaker* generator akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 2 detik, dan akan *trip* dalam waktu 5 – 30 detik.
- Kurva CB G2 yang berada di belakang kurva CB G1 adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi generator 2 sekaligus sebagai pengaman *back up* apabila CB A13 gagal memproteksi motor *windlass*. *Circuit breaker* generator 2 memiliki spesifikasi dan karakteristik yang sama dengan generator 1.
- Kurva kerja *circuit breaker* berada di sebelah kanan kurva arus *start* motor *windlass*, artinya pada saat motor *windlass* melakukan *starting*, apabila terjadi lonjakan arus *start*, masih dapat diamankan oleh ketiga *circuit breaker* tersebut. Jika kurva kerja *circuit breaker* bersinggungan dengan kurva arus *starting* motor, maka *circuit breaker* akan selalu *trip* setiap motor melakukan *starting*.

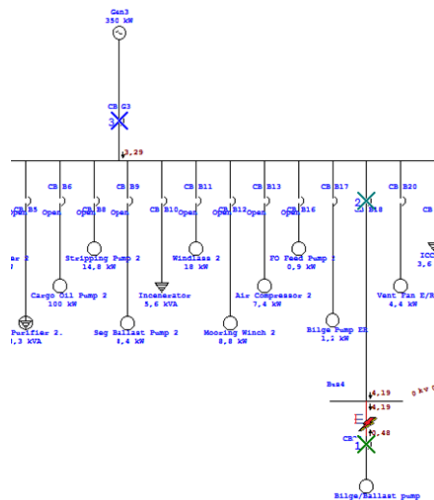
#### 4.5.2. Analisis Skenario 2

Skenario kedua adalah pada kondisi tambat, dengan peralatan *bilge and ballast pump* yang mengalami gangguan. Total kebutuhan daya pada kondisi tambat adalah 184,7 kW, sehingga diperlukan 1 generator untuk mensuplai daya.



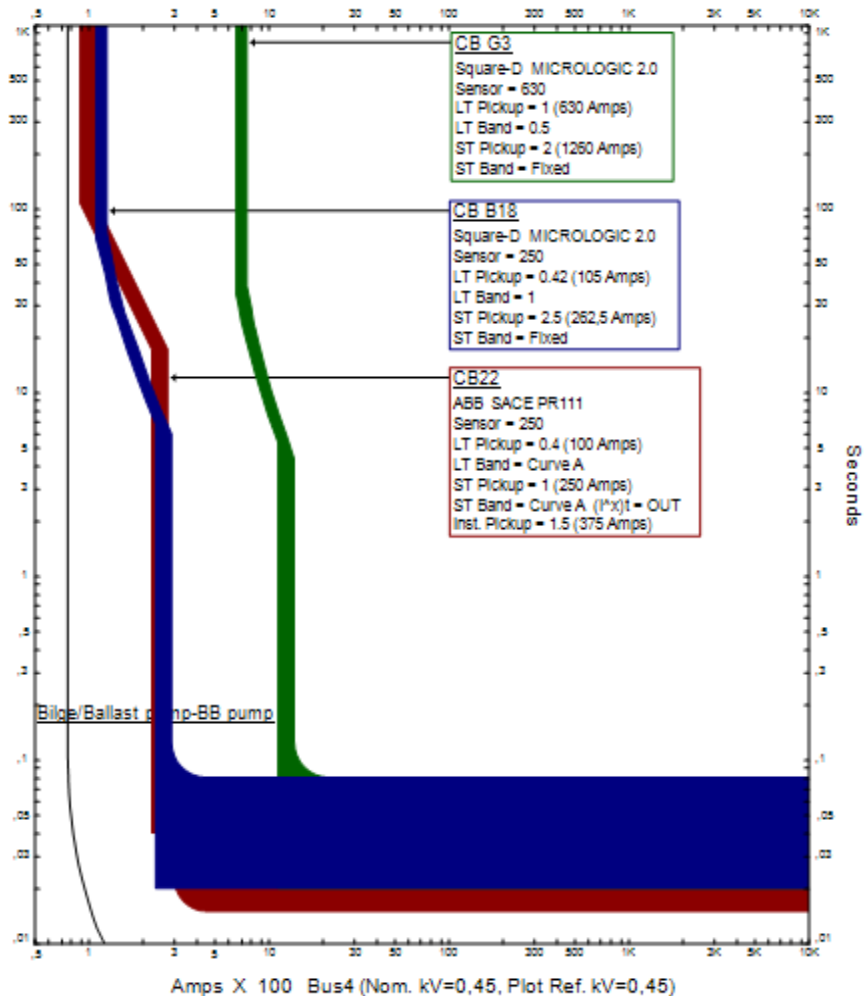
Gambar 4.6 Oneline Diagram Skenario 2

Dari gambar oneline diagram diatas, *bilge and ballast pump* sengaja diberikan gangguan hubungan singkat dengan menggunakan *star – protective device coordination* pada *software* simulasi. Maka, *circuit breaker* yang akan dilakukan pengaturan koordinasi proteksi yaitu *circuit breaker* G3, CB B18, dan CB 22.



Gambar 4.7 Urutan Pemutusan Kontak *Circuit Breaker* pada Skenario 2

CB 22 merupakan pengaman pertama yang berfungsi untuk mengamankan *bilge and ballast pump* apabila terjadi gangguan pada bus MSB 450V. CB B18 merupakan pengaman dari bus 4 sekaligus pengaman *back up* apabila CB 22 gagal memproteksi motor *bilge and ballast pump*. CB G3 adalah pengaman untuk generator sekaligus berfungsi sebagai pengaman *back up* kedua apabila CB 22 dan CB B18 gagal memproteksi gangguan hubungan singkat.



**Gambar 4.8** Kurva Arus Waktu Skenario 2

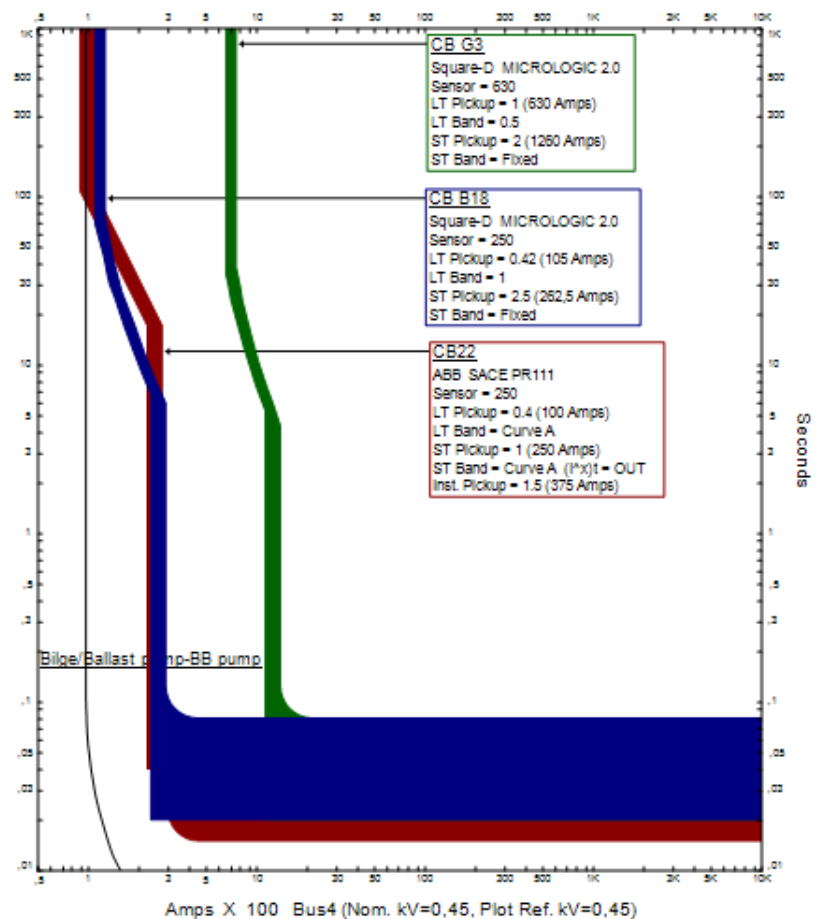
Output dari simulasi skenario 2 menghasilkan kurva kerja pada gambar 4.8 yang menjelaskan kerja *circuit breaker* 22, B18, G3, dan kurva arus *starting bilge and ballast pump* sebagai berikut :



- Kurva motor *bilge and ballast pump* dari bawah keatas adalah nilai arus *start* motor *bilge and ballast pump* yang kemudian kembali pada nilai arus FLA nya dalam waktu 0,1 detik.
- Kurva CB 22 yang berwarna merah adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi motor *bilge and ballast pump*. *Circuit breaker* ini memiliki setting *instantaneous pick up* dimana *circuit breaker* akan *trip* dalam waktu 0,06 detik jika terjadi arus lebih karena hubungan singkat setidaknya sebesar 375 A tanpa ada waktu tunda. Hal ini bertujuan agar komponen dapat langsung diamankan karena arus yang sangat tinggi dapat merusak komponen.
- Kurva CB 22 memiliki karakteristik kecepatan long time pick up 0,4 detik pada arus 100 A. Artinya ketika motor *bilge and ballast pump* terjadi gangguan beban lebih yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 100 A, maka *circuit breaker* akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 0,4 detik dengan delay waktu trip 20 – 100 detik. Sehingga, ketika terjadi beban lebih, maka *circuit breaker* tidak langsung memutuskan arus kecuali apabila dalam waktu 20 – 100 detik nilai arus tidak segera menurun.
- Kurva CB 22 juga memiliki karakteristik kecepatan short time pick up 1 detik pada arus 250 A. Artinya ketika aliran arus pada motor *bilge and ballast pump* mencapai 250 A, maka *circuit breaker* akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 1 detik dan langsung terjadi *trip* saat itu juga.
- Kurva CB B18 yang berwarna biru adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi bus 4 sekaligus sebagai pengaman *back up* apabila CB 22 gagal memproteksi. *Circuit breaker* akan *trip* dalam waktu 0,08 detik jika arus yang mengalir melewati batas setting arus CB B18 yaitu 262,5 A. Ketika motor *bilge and ballast pump* terjadi *overload* yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 105 A, maka CB B18 akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 0,42 detik, dan akan *trip* dalam waktu 6 - 70 detik.
- Kurva CB G3 yang berwarna hijau adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi generator 3 sekaligus sebagai pengaman *back up* apabila CB B18 dan CB 22 gagal memproteksi motor *bilge and ballast pump*. *Circuit breaker* akan *trip* dalam waktu 0,08 detik jika arus yang mengalir melewati batas setting arus *circuit breaker* G3 yaitu 1260 A. Ketika generator terjadi *overload* yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 630 A, maka *circuit breaker* generator akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 2 detik, dan akan *trip* dalam waktu 5 – 30 detik.
- Kurva kerja *circuit breaker* berada di sebelah kanan kurva arus *start* motor *windlass*, artinya pada saat motor *windlass* melakukan *starting*, apabila terjadi lonjakan arus *start*, masih dapat diamankan oleh ketiga

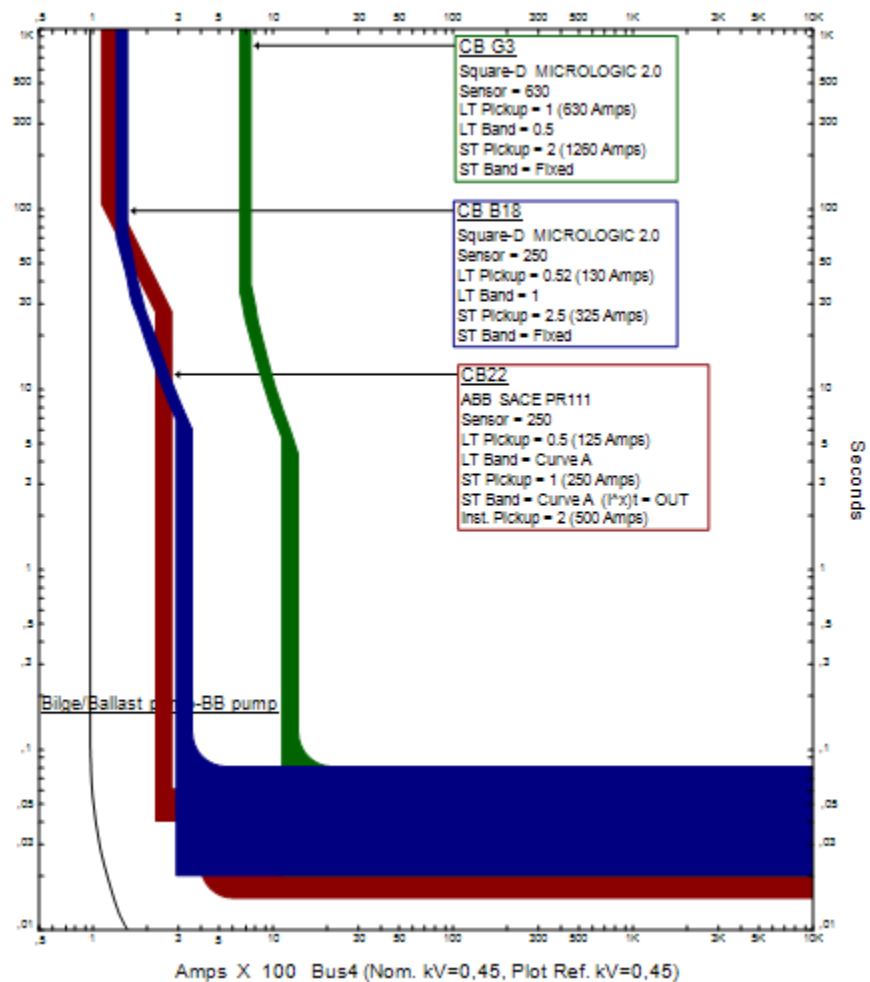
*circuit breaker* tersebut. Jika kurva kerja *circuit breaker* bersinggungan dengan kurva arus *starting* motor, maka *circuit breaker* akan selalu *trip* setiap motor melakukan *starting*.

Berdasarkan simulasi skenario 2, maka didapatkan hasil pada saat motor *bilge and ballast pump* beroperasi dengan 76,61 FLA atau setara dengan 43,2 kW maka arus lebih dapat diproteksi. Tetapi apabila motor harus bekerja dengan beban penuhnya karena suatu hal, maka diharuskan melakukan *setting* ulang koordinasi pengaman karena terjadi perubahan arus nominal pada motor, jika tidak dilakukan *setting* ulang, maka ketika motor beroperasi dengan setting koordinasi pengaman awal, akan selalu terjadi trip pada saat kondisi operasional. Berikut adalah kurva penjelasan kondisi pada saat motor beropersai pada 96,52 FLA atau setara dengan 55 kW dimana nilai ini adalah beban maksimal dari motor *bilge and ballast pump*.



**Gambar 4.9** Kurva Arus Waktu pada Beban Maksimal Motor *Bilge and Ballast Pump*

Berdasarkan kurva 4.9, pada saat motor *bilge and ballast pump* bekerja pada beban maksimalnya, maka akan mengalami kenaikan arus nominal, sehingga CB 22 sebagai proteksi utama dari motor *bilge and ballast pump* bersinggungan dengan kurva arus nominal, artinya pada saat motor bekerja dengan arus nominal, akan selalu terjadi *trip* sehingga diperlukan adanya *setting* ulang koordinasi proteksi arus lebih.

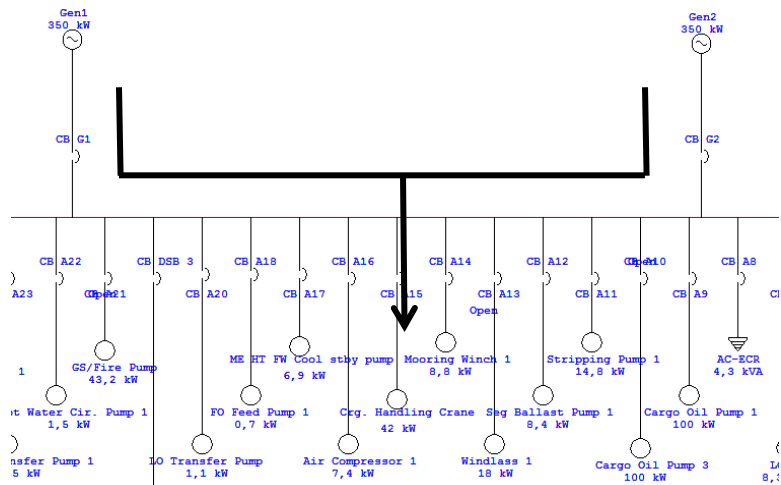


**Gambar 4.10** Hasil *Setting* Ulang Koordinasi Pengaman pada Motor *Bilge and Ballast Pump* Beban Maksimal

Berdasarkan kurva 4.10 maka diperoleh hasil dari kurva pengaturan ulang koordinasi pengaman pada motor *bilge and ballast pump* dengan mengubah *setting long time pick up* dimana fungsi dari kurva *long time pick up* adalah untuk memproteksi arus lebih yang disebabkan oleh beban berlebih.

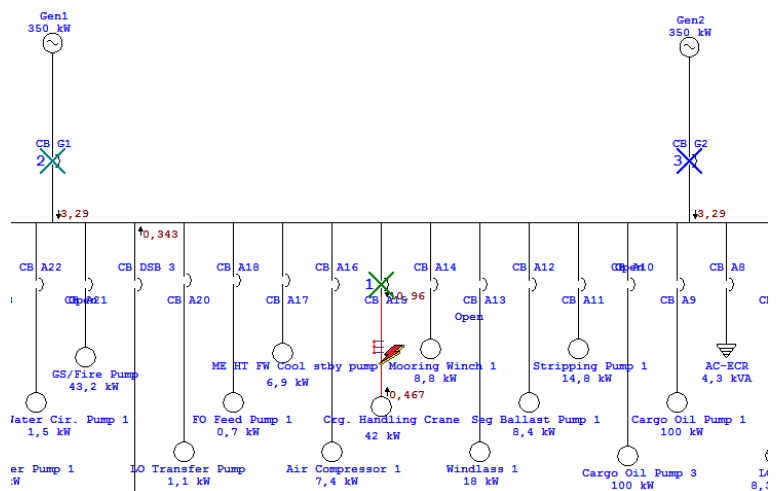
### 4.5.3. Analisis Skenario 3

Skenario ketiga adalah pada kondisi bongkar muat, dengan peralatan *cargo hose handling crane* yang mengalami gangguan. Total kebutuhan daya pada kondisi bongkar muat adalah 573,3 kW, sehingga diperlukan 2 generator untuk mensuplai daya.



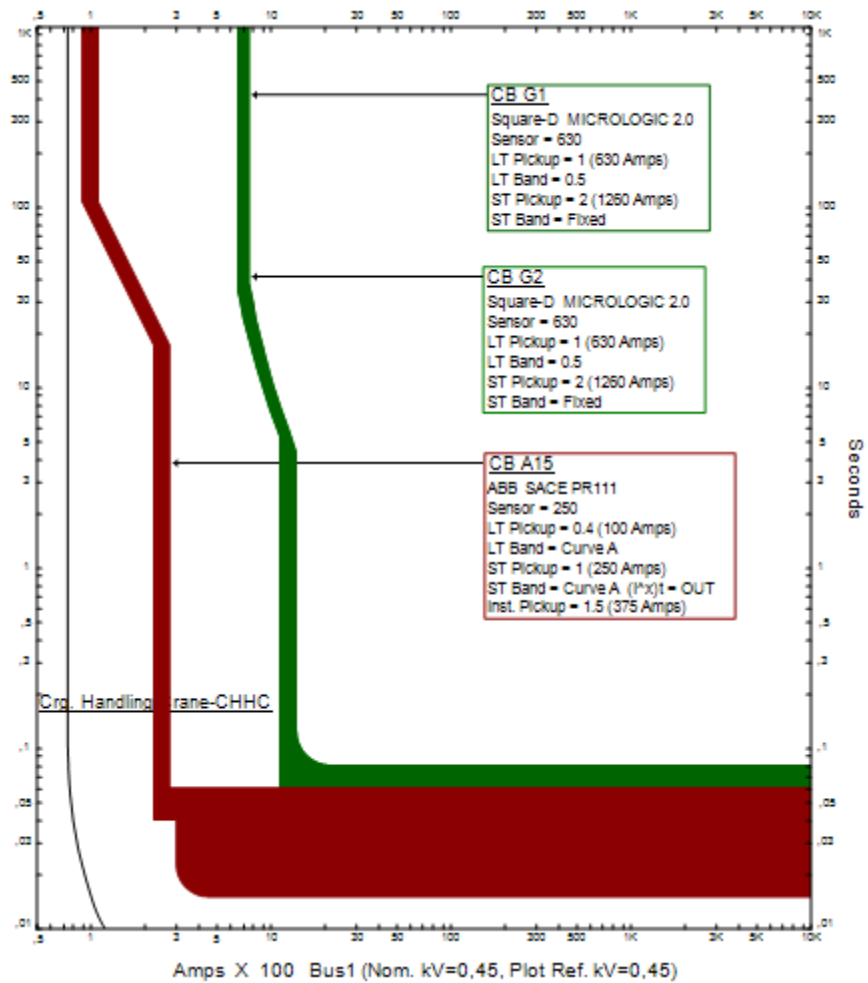
Gambar 4.11 Oneline Diagram Skenario 3

Dari gambar oneline diagram diatas, *cargohose handling* sengaja diberikan gangguan hubungan singkat dengan menggunakan *star – protective device coordination* pada *software* simulasi. Maka, *circuit breaker* yang akan dilakukan pengaturan koordinasi proteksi yaitu *circuit breaker* B11 dan G3.



Gambar 4.12 Urutan Pemutusan Kontak *Circuit Breaker* Skenario 3

CB A15 merupakan pengaman pertama yang berfungsi untuk mengamankan *cargo handling crane* apabila terjadi gangguan pada bus MSB 450V. CB G1 merupakan pengaman dari generator 1 sekaligus pengaman *back up* apabila CB A15 gagal memproteksi motor *cargo handling crane*. CB G3 adalah pengaman untuk generator 2 sekaligus berfungsi sebagai pengaman *back up* apabila CB A15 gagal memproteksi gangguan hubungan singkat.



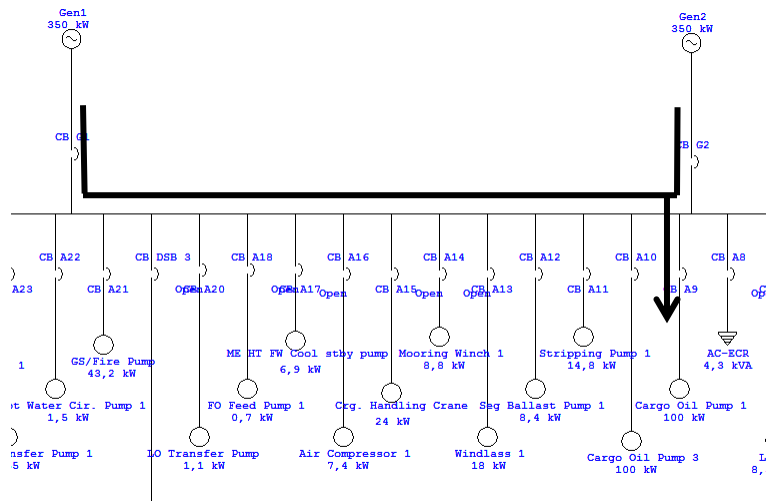
**Gambar 4.13** Kurva Arus Waktu Skenario 3

Output dari simulasi skenario 3 menghasilkan kurva kerja pada gambar 4.10 yang menjelaskan kerja *circuit breaker* A15, G1, G2, dan kurva arus *starting cargo handling crane* sebagai berikut :

- Kurva *cargo handling crane* dari bawah keatas adalah nilai arus *start cargo handling crane* yang kemudian kembali pada nilai arus FLA nya dalam waktu 0,1 detik.
- Kurva CB A15 yang berwarna merah adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi *cargo handling crane*. *Circuit breaker* ini memiliki setting *instantaneous pick up* dimana *circuit breaker* akan *trip* dalam waktu 0,06 detik jika terjadi arus lebih karena hubungan singkat setidaknya sebesar 375 A tanpa ada waktu tunda. Hal ini bertujuan agar komponen dapat langsung diamankan karena arus yang sangat tinggi dapat merusak komponen.
- Kurva CB A15 memiliki karakteristik kecepatan *long time pick up* 0,4 detik pada arus 100 A. Artinya ketika *cargo handling crane* terjadi gangguan beban lebih yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 100 A, maka *circuit breaker* akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 0,4 detik dengan delay waktu *trip* 20 – 100 detik. Sehingga, ketika terjadi beban lebih, maka *circuit breaker* tidak langsung memutuskan arus kecuali apabila dalam waktu 20 – 100 detik nilai arus tidak segera menurun.
- Kurva CB A15 juga memiliki karakteristik kecepatan *short time pick up* 1 detik pada arus 250 A. Artinya ketika aliran arus pada *cargo handling crane* mencapai 250 A, maka *circuit breaker* akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 1 detik dan langsung terjadi *trip* saat itu juga.
- Kurva CB G1 yang berwarna hijau adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi generator 1 sekaligus sebagai pengaman *back up* apabila CB A15 gagal memproteksi *cargo handling crane*. *Circuit breaker* akan *trip* dalam waktu 0,08 detik jika arus yang mengalir melewati batas setting arus *circuit breaker* G1 yaitu 1260 A. Ketika generator terjadi *overload* yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 630 A, maka *circuit breaker* generator akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 2 detik, dan akan *trip* dalam waktu 5 – 30 detik.
- Kurva CB G2 yang berada di belakang kurva CB G1 adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi generator 2 sekaligus sebagai pengaman *back up* apabila CB A15 gagal memproteksi *cargo handling crane*. *Circuit breaker* generator 2 memiliki spesifikasi dan karakteristik yang sama dengan generator 1.
- Kurva kerja *circuit breaker* berada di sebelah kanan kurva arus *start cargo handling crane*, artinya pada saat *cargo handling crane* melakukan *starting*, apabila terjadi lonjakan arus *start*, masih dapat diamankan oleh ketiga *circuit breaker* tersebut. Jika kurva kerja *circuit breaker* bersinggungan dengan kurva arus *starting* motor, maka *circuit breaker* akan selalu *trip* setiap motor melakukan *starting*.

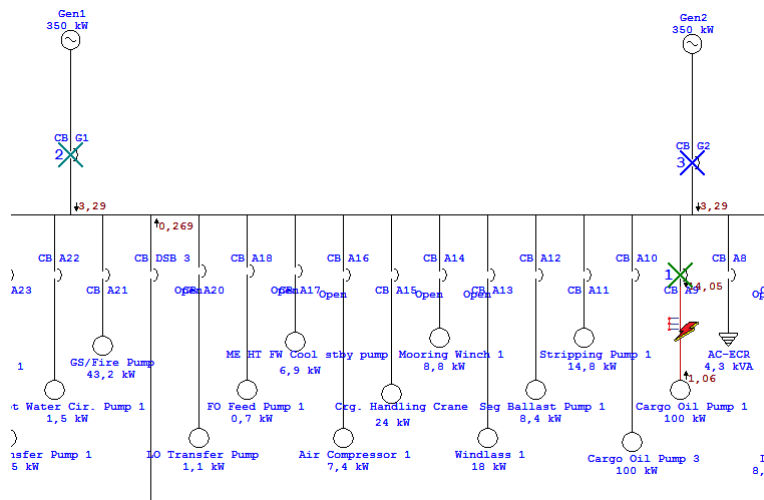
#### 4.5.4. Analisis Skenario 4

Skenario keempat adalah pada kondisi bongkar muat, dengan peralatan *cargo oil pump 1* yang mengalami gangguan. Total kebutuhan daya pada kondisi bongkar muat adalah 573,3 kW, sehingga diperlukan 2 generator untuk mensuplai daya.



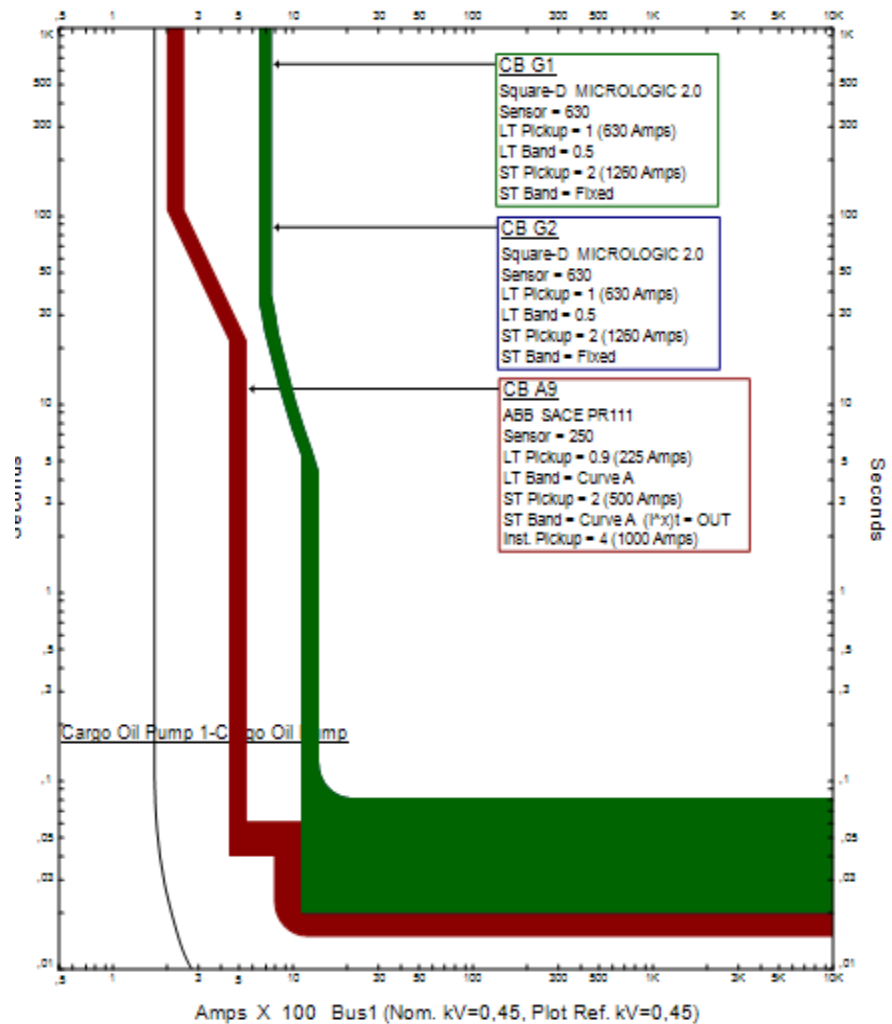
Gambar 4.14 Online Diagram Skenario 4

Dari gambar *online diagram* diatas, *cargo oil pump 1* sengaja diberikan gangguan hubungan singkat dengan menggunakan *star – protective device coordination* pada *software* simulasi. Maka, *circuit breaker* yang akan dilakukan pengaturan koordinasi proteksi yaitu *circuit breaker* A9, G1, dan G2.



Gambar 4.15 Urutan Pemutusan Kontak pada Circuit Breaker Skenario 4

CB A9 merupakan pengaman pertama yang berfungsi untuk mengamankan *cargo oil pump* apabila terjadi gangguan pada bus MSB 450V. CB G1 merupakan pengaman dari generator 1 sekaligus pengaman *back up* apabila CB A9 gagal memproteksi *cargo oil pump*. CB G1 dan G2 adalah pengaman untuk generator sekaligus berfungsi sebagai pengaman *back up* apabila CB A9 gagal memproteksi gangguan hubungan singkat.



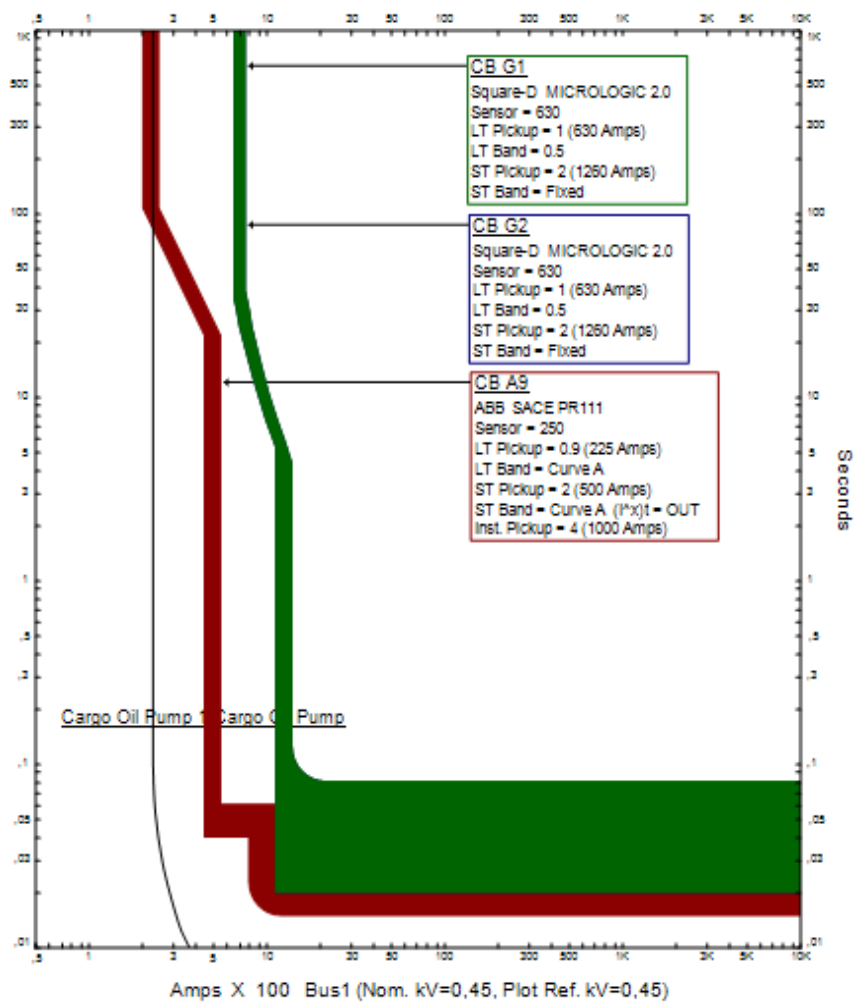
**Gambar 4.16** Kurva Arus Waktu pada Skenario 4

Output dari simulasi skenario 4 menghasilkan kurva kerja pada gambar 4.14 yang menjelaskan kerja *circuit breaker* A9, G1, G2, dan kurva arus *starting cargo oil pump* sebagai berikut :



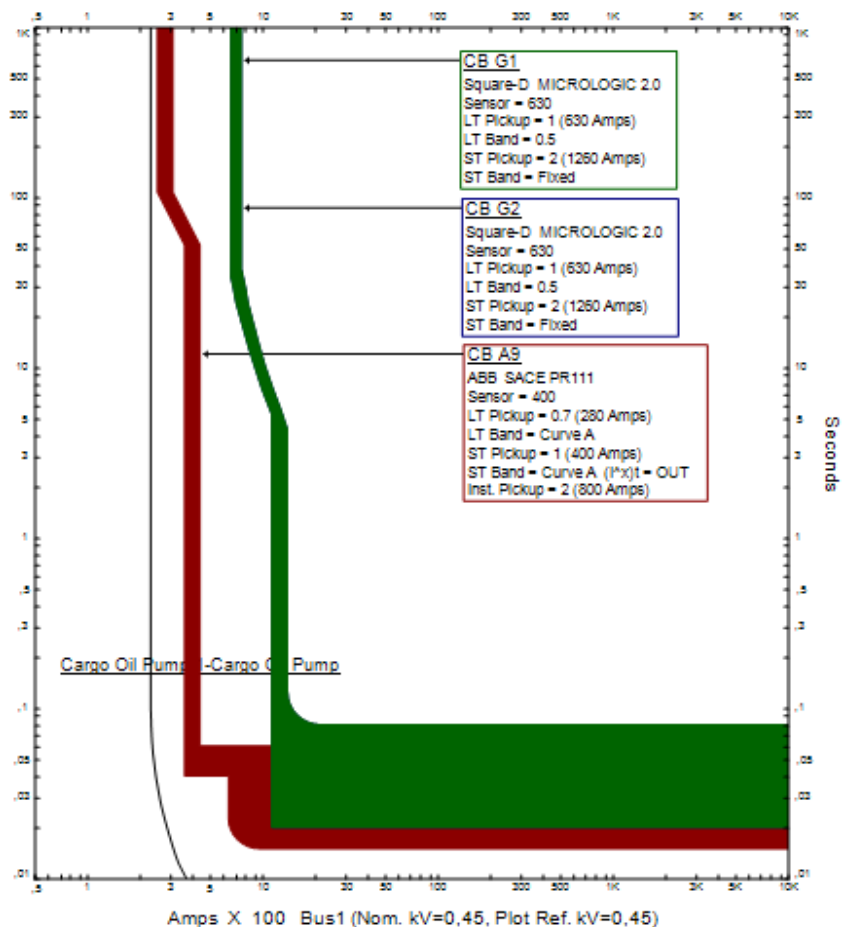
- Kurva *cargo oil pump* dari bawah keatas adalah nilai arus *start cargo oil pump* yang kemudian kembali pada nilai arus FLA nya dalam waktu 0,1 detik.
- Kurva CB A9 yang berwarna merah adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi *cargo oil pump*. *Circuit breaker* ini memiliki *setting instantaneous pick up* dimana *circuit breaker* akan *trip* dalam waktu 0,06 detik jika terjadi arus lebih karena hubungan singkat setidaknya sebesar 1000 A tanpa ada waktu tunda. Hal ini bertujuan agar komponen dapat langsung diamankan karena arus yang sangat tinggi dapat merusak komponen.
- Kurva CB A9 memiliki karakteristik kecepatan *long time pick up* 0,9 detik pada arus 225 A. Artinya ketika *cargo oil pump* terjadi gangguan beban lebih yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 225 A, maka *circuit breaker* akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 0,9 detik dengan delay waktu *trip* 20 – 100 detik. Sehingga, ketika terjadi beban lebih, maka *circuit breaker* tidak langsung memutuskan arus kecuali apabila dalam waktu 20 – 100 detik nilai arus tidak segera menurun.
- Kurva CB A9 juga memiliki karakteristik kecepatan *short time pick up* 2 detik pada arus 500 A. Artinya ketika aliran arus pada *cargo oil pump* mencapai 500 A, maka *circuit breaker* akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 2 detik dan langsung terjadi *trip* saat itu juga.
- Kurva CB G1 yang berwarna hijau adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi generator 1 sekaligus sebagai pengaman *back up* apabila CB A9 gagal memproteksi *cargo oil pump*. *Circuit breaker* akan *trip* dalam waktu 0,08 detik jika arus yang mengalir melewati batas *setting* arus *circuit breaker* G1 yaitu 1260 A. Ketika generator terjadi *overload* yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 630 A, maka *circuit breaker* generator akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 2 detik, dan akan *trip* dalam waktu 5 – 30 detik.
- Kurva CB G2 yang berada di belakang kurva CB G1 adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi generator 2 sekaligus sebagai pengaman *back up* apabila CB A9 gagal memproteksi *cargo oil pump*. *Circuit breaker* generator 2 memiliki spesifikasi dan karakteristik yang sama dengan generator 1.
- Kurva kerja *circuit breaker* berada di sebelah kanan kurva arus *start cargo oil pump*, artinya pada saat *cargo oil pump* melakukan *starting*, apabila terjadi lonjakan arus *start*, masih dapat diamankan oleh ketiga *circuit breaker* tersebut. Jika kurva kerja *circuit breaker* bersinggungan dengan kurva arus *starting* motor, maka *circuit breaker* akan selalu *trip* setiap motor melakukan *starting*.

Berdasarkan simulasi skenario 4, maka didapatkan hasil pada saat motor *cargo oil pump* beroperasi dengan 168,4 FLA atau setara dengan 100 kW maka arus lebih dapat diproteksi. Tetapi apabila motor harus bekerja dengan beban penuhnya karena suatu hal, maka diharuskan melakukan *setting* ulang koordinasi pengaman karena terjadi perubahan arus nominal pada motor, jika tidak dilakukan *setting* ulang, maka ketika motor beroperasi dengan setting koordinasi pengaman awal, akan selalu terjadi trip pada saat kondisi operasional. Berikut adalah kurva penjelasan kondisi pada saat motor beroperasi pada 226,2 FLA atau setara dengan 150 kW dimana nilai ini adalah beban maksimal dari motor *cargo oil pump*.



**Gambar 4.17** Kurva Arus Waktu pada Beban Maksimal *Cargo Oil Pump*

Berdasarkan kurva 4.17, pada saat motor *cargo oil pump* bekerja pada beban maksimalnya, maka akan mengalami kenaikan arus nominal, sehingga CB A9 sebagai proteksi utama dari motor *cargo oil pump* bersinggungan dengan kurva arus nominal, artinya pada saat motor bekerja dengan arus nominal, akan selalu terjadi *trip* sehingga diperlukan adanya *setting* ulang koordinasi proteksi arus lebih.

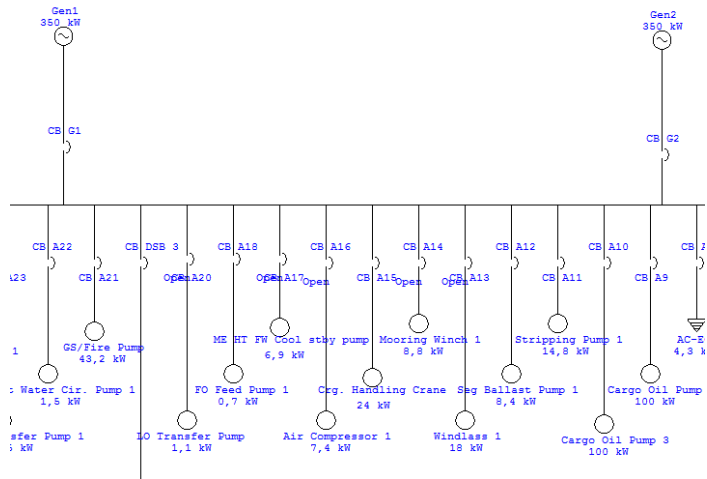


**Gambar 4. 18** Hasil *Setting* Ulang Koordinasi Pengaman pada *Cargo Oil Pump* Beban Maksimal

Berdasarkan kurva 4.18, setelah melakukan simulasi *setting* ulang koordinasi pengaman, tipe dan spesifikasi dari CB A9 pada skenario 4 tidak dapat memproteksi arus lebih pada beban 150 kW, sehingga harus mengganti tipe dari circuit breaker. Maka dari itu, cargo oil pump tidak boleh beroperasi pada beban maksimal dalam keadaan apapun dengan cara mengoptimalkan penggunaan pada ketiga cargo oil pump yang ada agar tidak melakukan penggantian circuit breaker.

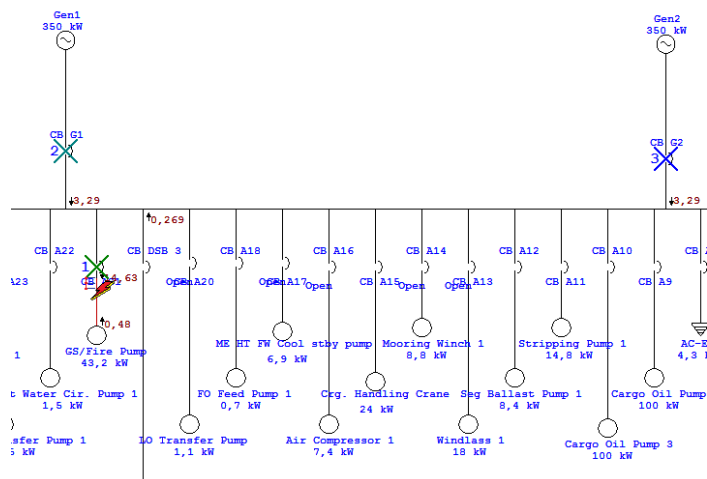
#### 4.5.5. Analisis Skenario 5

Skenario kelima adalah pada kondisi bongkar muat, dengan peralatan *fire and GS pump* yang mengalami gangguan. Total kebutuhan daya pada kondisi bongkar muat adalah 573,3 kW, sehingga diperlukan 2 generator untuk mensuplai daya.



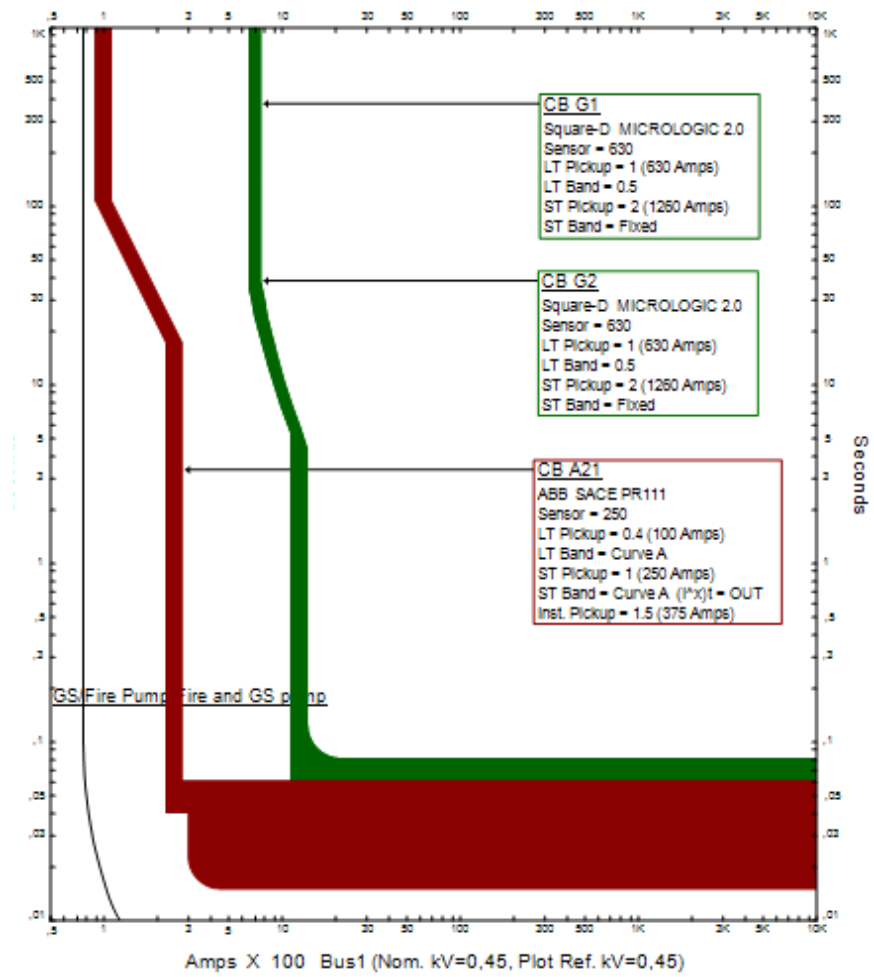
Gambar 4.19 Oneline Diagram Skenario 5

Dari gambar *oneline diagram* diatas, *fire and GS pump* sengaja diberikan gangguan hubungan singkat dengan menggunakan *star – protective device coordination* pada *software* simulasi. Maka, *circuit breaker* yang akan dilakukan pengaturan koordinasi proteksi yaitu *circuit breaker* A21, G1, dan G2.



Gambar 4.20 Urutan Pemutusan Kontak *Circuit Breaker* pada Skenario 5

CB A21 merupakan pengaman pertama yang berfungsi untuk mengamankan *fire and GS pump* apabila terjadi gangguan pada bus MSB 450V. CB G1 merupakan pengaman dari generator 1 sekaligus pengaman *back up* apabila CB A21 gagal memproteksi *fire and GS pump*. CB G1 dan G2 adalah pengaman untuk generator sekaligus berfungsi sebagai pengaman *back up* apabila CB A21 gagal memproteksi gangguan hubungan singkat.

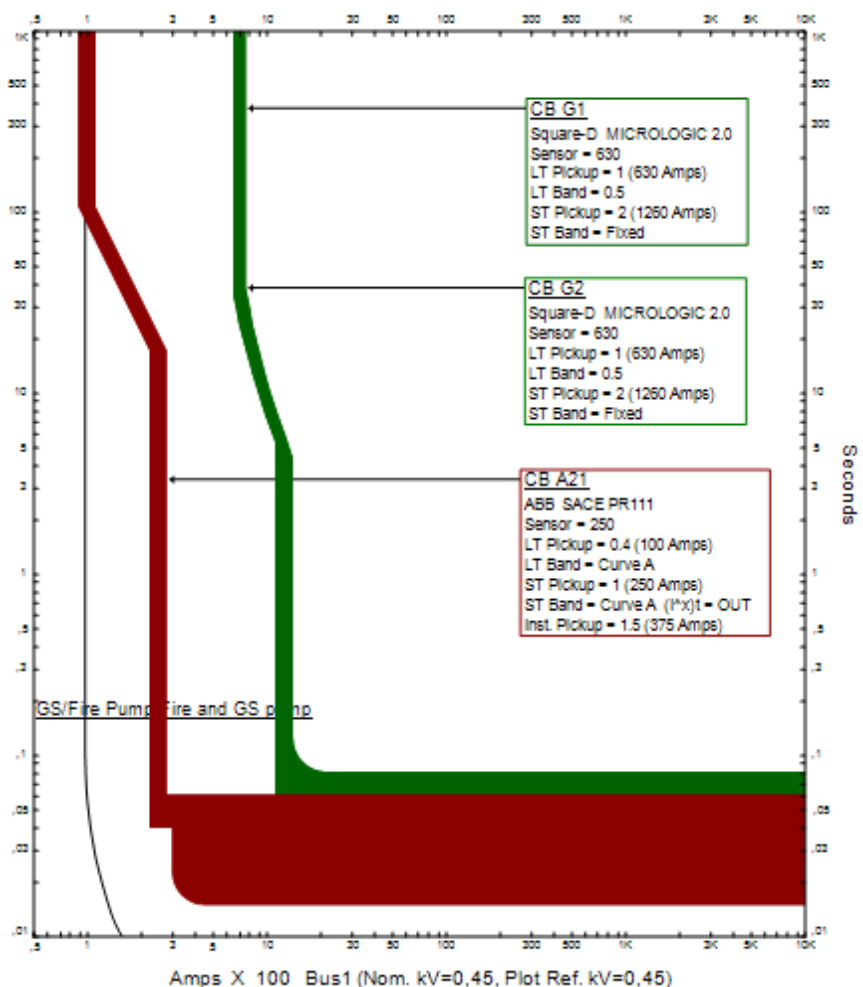


**Gambar 4.21** Kurva Arus Waktu Skenario 5

Output dari simulasi skenario 5 menghasilkan kurva kerja pada gambar 4.14 yang menjelaskan kerja *circuit breaker* A21, G1, G2, dan kurva arus *starting cargo oil pump* sebagai berikut :

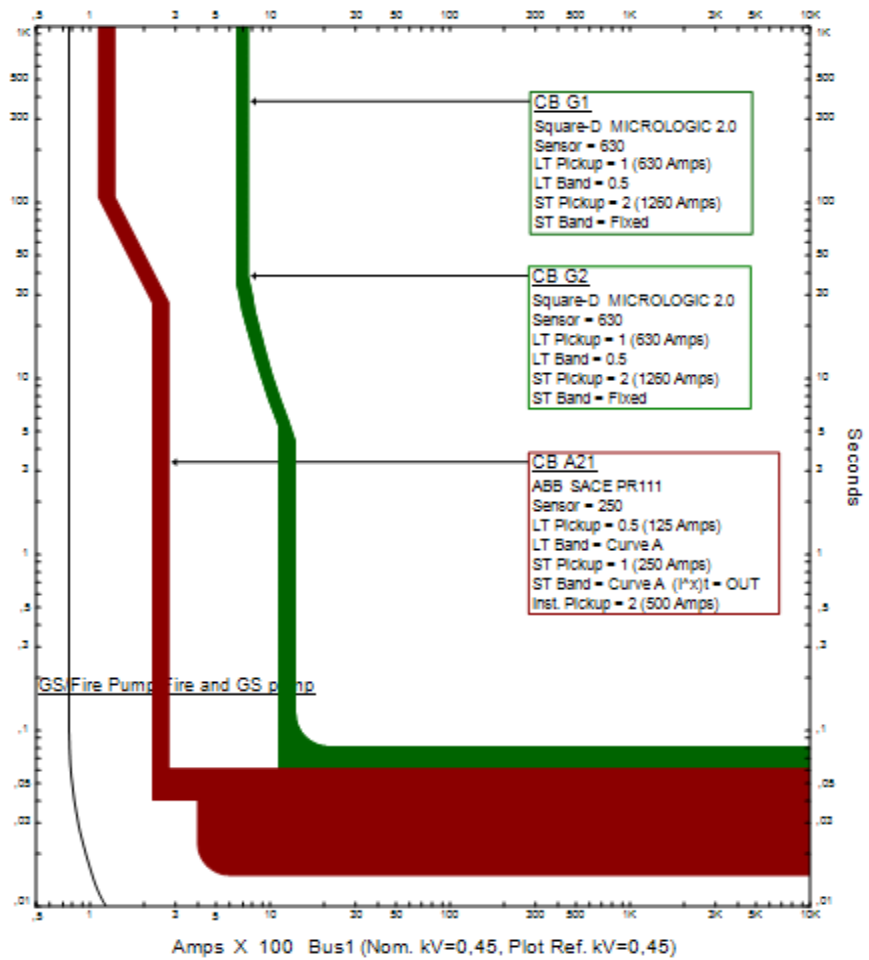
- Kurva *fire and GS pump* dari bawah keatas adalah nilai arus *start fire and GS pump* yang kemudian kembali pada nilai arus FLA nya dalam waktu 0,1 detik.
- Kurva CB A21 yang berwarna merah adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi *fire and GS pump*. *Circuit breaker* ini memiliki *setting instantaneous pick up* dimana *circuit breaker* akan *trip* dalam waktu 0,06 detik jika terjadi arus lebih karena hubungan singkat setidaknya sebesar 375 A tanpa ada waktu tunda. Hal ini bertujuan agar komponen dapat langsung diamankan karena arus yang sangat tinggi dapat merusak komponen.
- Kurva CB A21 memiliki karakteristik kecepatan *long time pick up* 0,4 detik pada arus 100 A. Artinya ketika *fire and GS pump* terjadi gangguan beban lebih yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 100 A, maka *circuit breaker* akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 0,4 detik dengan delay waktu *trip* 20 – 100 detik. Sehingga, ketika terjadi beban lebih, maka *circuit breaker* tidak langsung memutuskan arus kecuali apabila dalam waktu 20 – 100 detik nilai arus tidak segera menurun.
- Kurva CB A21 juga memiliki karakteristik kecepatan *short time pick up* 1 detik pada arus 250 A. Artinya ketika aliran arus pada *fire and GS pump* mencapai 250 A, maka *circuit breaker* akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 1 detik dan langsung terjadi *trip* saat itu juga.
- Kurva CB G1 yang berwarna hijau adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi generator 1 sekaligus sebagai pengaman *back up* apabila CB A21 gagal memproteksi *fire and GS pump*. *Circuit breaker* akan *trip* dalam waktu 0,08 detik jika arus yang mengalir melewati batas *setting* arus *circuit breaker* G1 yaitu 1260 A. Ketika generator terjadi *overload* yang menyebabkan nilai arus FLA mencapai 630 A, maka *circuit breaker* generator akan mendeteksi arus tersebut dalam waktu 2 detik, dan akan *trip* dalam waktu 5 – 30 detik.
- Kurva CB G2 yang berada di belakang kurva CB G1 adalah kurva *circuit breaker* yang melindungi generator 2 sekaligus sebagai pengaman *back up* apabila CB A21 gagal memproteksi *fire and GS pump*. *Circuit breaker* generator 2 memiliki spesifikasi dan karakteristik yang sama dengan generator 1.
- Kurva kerja *circuit breaker* berada di sebelah kanan kurva arus *start cargo oil pump*, artinya pada saat *fire and GS pump* melakukan *starting*, apabila terjadi lonjakan arus *start*, masih dapat diamankan oleh ketiga *circuit breaker* tersebut. Jika kurva kerja *circuit breaker* bersinggungan dengan kurva arus *starting* motor, maka *circuit breaker* akan selalu *trip* setiap motor melakukan *starting*.

Berdasarkan simulasi skenario 5, maka didapatkan hasil pada saat motor *fire and GS pump* beroperasi dengan 76,61 FLA atau setara dengan 43,2 kW maka arus lebih dapat diproteksi. Tetapi apabila motor harus bekerja dengan beban penuhnya karena suatu hal, maka diharuskan melakukan *setting* ulang koordinasi pengaman karena terjadi perubahan arus nominal pada motor, jika tidak dilakukan *setting* ulang, maka ketika motor beroperasi dengan *setting* koordinasi pengaman awal, akan selalu terjadi *trip* pada saat kondisi operasional. Berikut adalah kurva penjelasan kondisi pada saat motor beroperasi pada 96,52 FLA atau setara dengan 55 kW dimana nilai ini adalah beban maksimal dari motor *fire and GS pump*.



**Gambar 4.22** Kurva Arus Waktu pada Beban Maksimal *Fire and GS Pump*

Berdasarkan kurva 4.22, pada saat motor *fire and GS pump* bekerja pada beban maksimalnya, maka akan mengalami kenaikan arus nominal, sehingga CB A21 sebagai proteksi utama dari motor *fire and GS pump* bersinggungan dengan kurva arus nominal, artinya pada saat motor bekerja dengan arus nominal, akan selalu terjadi *trip* sehingga diperlukan adanya *setting* ulang koordinasi proteksi arus lebih.



**Gambar 4.23** Hasil *Setting* Ulang Koordinasi Pengaman pada *Fire and GS Pump* Beban Maksimal

Berdasarkan kurva 4.23 maka diperoleh hasil dari kurva pengaturan ulang koordinasi pengaman pada motor *fire and GS pump* dengan mengubah *setting long time pick up* dimana fungsi dari kurva *long time pick up* adalah untuk memproteksi arus lebih yang disebabkan oleh beban berlebih.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa data pada lima skenario, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Besarnya arus hubungan singkat dipengaruhi oleh jumlah beban dari setiap peralatan pada setiap kondisi operasional kapal. Hasil simulasi pada 4 kondisi operasional kapal tanker menunjukkan komponen yang memiliki nilai *short circuit* terbesar yaitu motor *cargo oil pump* sebesar 1,06 kA dengan *short circuit* minimumnya yaitu 0,084 kA.
2. Pengaturan *circuit breaker* yang berfungsi sebagai pelindung utama motor *windlass*, *cargo hose handling crane*, *fire and GS pump*, dan *bilge and ballast pump* memiliki karakteristik *instantaneous pick up* sebesar 375 A sedangkan untuk motor *cargo oil pump* sebesar 1000 A agar dapat langsung *trip* ketika ada arus lebih yang sangat besar untuk melindungi komponen dengan cepat tanpa waktu *delay*. Oleh karena itu pemilihan *circuit breaker* untuk generator harus memiliki *setting short time pick up* 1260 A yang sekaligus berfungsi sebagai pengaman *back up* untuk komponen – komponen yang terhubung, dimana dapat memproteksi arus yang lebih besar daripada *circuit breaker* yang melindungi komponen. Dalam pengaturan koordinasi arus lebih, kurva kerja *circuit breaker* harus berada di belakang kurva kerja beban agar selama *starting* motor hingga motor beroperasi tidak terjadi *trip* kecuali pada saat terjadi gangguan arus lebih.
3. Pengaturan ulang *circuit breaker* apabila motor *windlass*, *cargo hose handling crane*, *fire and GS pump*, dan *bilge and ballast pump* harus bekerja pada beban maksimal, sebelumnya harus mengubah *instantaneous pick up* menjadi 500 A dan *long time pick up* dari 100 A menjadi 125 A. Hal ini dikarenakan jika nilai beban suatu komponen berubah, maka arus nominal akan berubah, sehingga pengaturan kembali koordinasi pengaman berfungsi untuk mengoptimalkan kerja dari sistem proteksi dan memastikan bahwa tidak terjadi *trip* saat motor beroperasi.

#### 5.2. Saran

Dari hasil penelitian ini disarankan untuk melakukan penelitian atau pengkajian lebih lanjut mengenai :

1. Penggunaan generator pada tegangan menengah sampai tinggi agar pengaman yang digunakan lebih bervariasi.
2. Proteksi arus lebih pada kapal yang memiliki *bow thruster* dengan variasi beban pada *bow thruster*.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

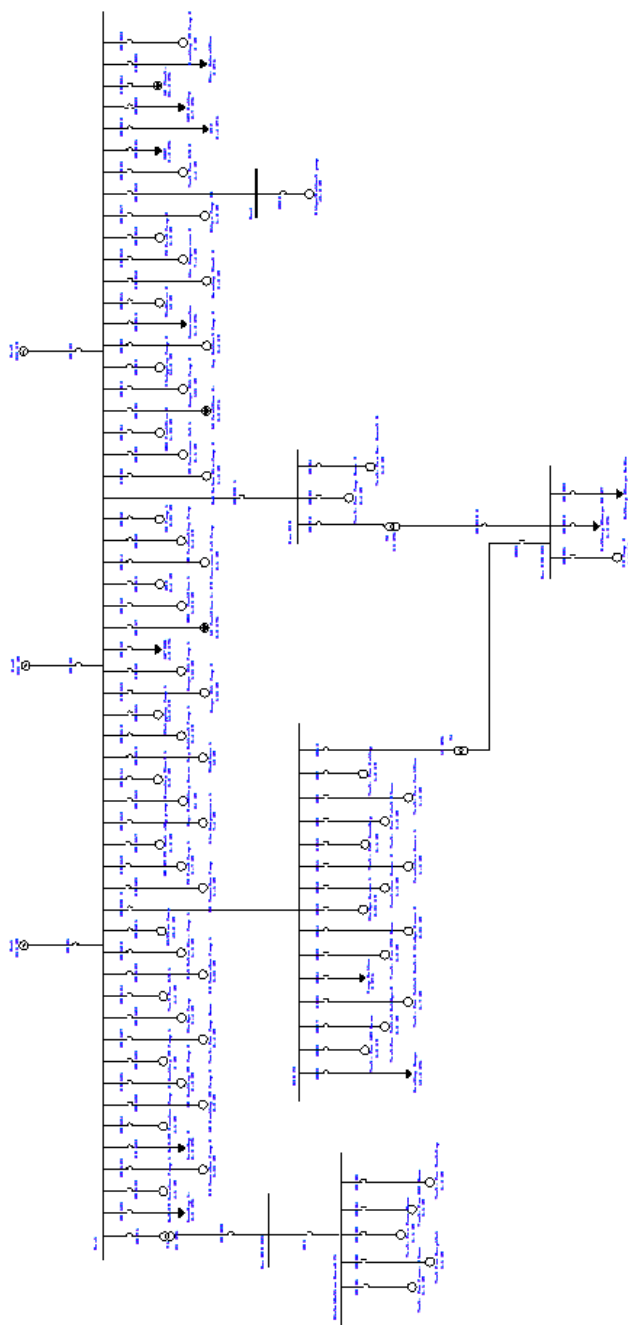
- A.R. van C Warrington. 1962. *Protective Relays volume 1*, Chapman & Hall LTD.
- Data Bulletin Schneider Electric. Bulletin No.0600DB0105. 2001. *Circuit Breaker Characteristic and Coordination Trip Curves*. Cedar Rapids, IA, USA.
- Hutauruk, Tunpak S. 1991. *Pentanahan Titik Netral Sistem Tenaga dan Pentanahan Peralatan*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- IEC 60909-0. 2001. Short-circuit currents in three-phase a.c. systems—Part 0: calculation of short-circuit currents.
- IEC 60909-1. 2002. Short-circuit currents in three-phase a.c. systems—Part 1: factors for the calculation of short-circuit currents according to IEC 60909-0.
- IEC 60909-2. 1992. Electrical equipment—Data for short-circuit current calculations in accordance with IEC 909 (1988).
- IEC 60909-3. 2003. Short-circuit currents in three-phase a.c. systems—Part 3: currents during two separate simultaneous line-to-earth short circuits and partial short-circuit currents flowing through earth.
- IEC 60909-4. 2002. Short-circuit currents in three-phase a.c. systems—Part 4: examples for the calculation of short-circuit currents.
- Preve, Cristophe. 2006 *Protection of Electrical Network*, ISTE Ltd, Great Britain and the United States.
- R Wahyudi Ir. 2008. “*Diktat Kuliah Sistem Pengaman Tenaga Listrik*”.
- Siemens. Basic of Circuit Breaker.
- Wahyudy, Firman Rahmat. Sarwito, Sardono. Kurniawan, Adi. 2016. “*Analisis Arus Starting Transformator Pada Pengoperasian Container Crane di Pelabuhan*”. Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

## **LAMPIRAN**

## LAMPIRAN



### ONELINE DIAGRAM KAPAL TANKER 6500 LTDW

One-Line Diagram - OLV1 (Star Sequence-of-Operation)









## DATA SPESIFIKASI BEBAN

## REFERENCE TO FITTINGS

| SYMBOL  | DESCRIPTION   | QTY | SYMBOL | DESCRIPTION   | QTY |
|---|---|-----|--------|---|-----|
|  | DIESEL GENERATOR, DIESEL ENG, DRIVEN, 350KW, 450/330V/50Hz/2300RPM, 3xW | 3   |        | ANCHOR WINDLASS HYDR, POWER PACK PUMP, 45.0KW, 440/330V     | 2   |
|  | GENERATOR, DIESEL ENG, DRIVEN, 700KW, 450/330V/50Hz/2300RPM, 3xW        | 1   |        | MOORINGS WINCH HYDR, POWER PACK PUMP, 2.0KW, 440/330V       | 2   |
|   |   |     |        | HOSE HANDLING HYDR, POWER PACK PUMP, 30.0KW, 440/330V       | 1   |
|   |   |     |        | SPARE PART CRANE MOTOR, 3.7KW, 440/330V                     | 1   |
|   | ENGINE ROOM VENTILATION FAN, 15.5KW, 440/330V                           | 2   |        | PROVIDER CRANE MOTOR, 3.7KW, 440/330V                       | 1   |
|   | ME COOLING S/W, PUMP MOTOR, 11KW, 440/330V                              | 2   |        | LIFE / RESCUE BOAT WINCH MOTOR, 15.1KW, 440/330V            | 1   |
|   | ME COOLING H.T. F.W. STEBY PUMP MOTOR, 11KW, 440/330V                   | 1   |        | LIFEBOAT WINCH MOTOR, 8.5KW, 440/330V                       | 1   |
|   | ME COOLING L.T. F.W. STEBY PUMP MOTOR, 11KW, 440/330V                   | 1   |        | REFRIGERATION COMPRESSOR, 2 x 4.0KW, 440/330V               | 2   |
|   | ME LUB OIL, STEBY PUMP MOTOR, 20KW, 440/330V                            | 1   |        | REFRIGERATION S/W COOLING PUMP, 11.0KW, 440/330V            | 2   |
|   | ME GIB LUB OIL, STEBY PUMP MOTOR, 17.5KW, 440/330V                      | 1   |        | CARGO OIL PUMP MOTOR, 19.0KW, 440/330V                      | 3   |
|   | ME PREHEATING CIRCUIT PUMP MOTOR, 0.75KW, 440/330V                      | 1   |        | STRIPPING PUMP MOTOR, 35.0KW, 440/330V                      | 2   |
|   | FUEL FEED PUMP, 2.5KW, 440/330V   | 2   |        | SEGREGATED BALLAST PUMP MOTOR, 20.0KW, 440/330V             | 2   |
|   | FIRE & GENERAL SERVICE PUMP MOTOR, 55.0KW, 440/330V                     | 1   |        | TANK CLEANING PUMP MOTOR, 54.0KW, 440/330V                  | 1   |
|   | BILGE & BALLAST PUMP MOTOR, 55.0KW, 440/330V                            | 1   |        | SLUDGE CRANE MOTOR, 3.7KW, 440/330V                         | 2   |
|   | AIR COMPRESSOR/AIR START, 22.0KW, 440/330V                              | 2   |        | ENGINE ROOM INLE PUMP MOTOR, 1.0KW, 440/330V                | 1   |
|   | AIR CONDITIONING FAN MOTOR, 3.0KW, 440/330V                             | 1   |        | HOT WATER CIRCULATION PUMP, 5.0KW, 440/330V                 | 2   |
|   | AIR CONDITIONING COMPRESSOR, 35.0KW, 440/330V                           | 2   |        | EMERGENCY FIRE PUMP MOTOR, 16.0KW, 440/330V                 | 1   |
|   | TURBINE GEAR MOTOR, 2.0KW, 440/330V                                     | 1   |        | EMERGENCY AIR COMPRESSOR, 2.76KW, 440/330V                  | 1   |
|   | OILY WATER SEPARATOR PUMP, 3.0KW, 440/330V                              | 1   |        | S.O. PURIFIER SEPARATOR, 2.0KW, 440/330V                    | 2   |
|   | PURIFIER ROOM EXHAUST FAN, 2.0KW, 440/330V                              | 1   |        | S.O. PURIFIER FEED PUMP MOTOR, 0.8KW, 440/330V              | 2   |
|   | STEERING COMPARTMENT VENTILATION FAN, 1.1KW, 440/330V                   | 1   |        | L.O. PURIFIER SEPARATOR, 2.0KW, 440/330V                    | 2   |
|   | STEERING GEAR PUMP MOTOR, 1.0KW, 440/330V                               | 2   |        | L.O. PURIFIER FEED PUMP MOTOR, 0.5KW, 440/330V              | 2   |
|   | D.O. TRANSFER PUMP MOTOR, 2.0KW, 440/330V                               | 2   |        | EMERGENCY GEN. ROOM VENTILATION FAN, 0.5KW, 440/330V        | 1   |
|   | L.A. TRANSFER PUMP MOTOR, 2.0KW, 440/330V                               | 1   |        | PUMP ROOM VENT. FAN, EXPLOSION PROOF TYPE, 3.45KW, 440/330V | 2   |
|   | F.W. PRESSURE SET, 2 x 2.0KW, 440/330V                                  | 1   |        | LAUNDRY EXHAUST FAN, 1.12KW, 230V/160V                      | 1   |
|   | S.W. PRESSURE SET, 2 x 2.0KW, 440/330V                                  | 1   |        | GALLEY EXHAUST FAN, 0.76KW, 440/330V                        | 1   |
|   | SLUDGE PUMP MOTOR, 0.75KW, 440/330V                                     | 1   |        | LOCAL WPT PUMP, 11 KW                                       | 1   |
|   | AS-BW COOLING PUMP No. 1, 2 & 3, 1.45 KW                                | 3   |        |   |     |

REFERENCE TO FITTINGS

| SYMBOL  | DESCRIPTION  | QTY | SYMBOL  | DESCRIPTION  | QTY |
|---|--|-----|---|--|-----|
|  | SANITARY EXHAUST FAN, 1.1KW, 440/380                       | 1   |  | A-T AUTO TRANSFORMER MOTOR STARTER, 440/380              | 3   |
|   | PROV. STORE EXHAUST FAN, 0.112KW, 220/180                  | 1   |   | DOL DIRECT-ON-LINE MOTOR STARTER, 440/380                | •   |
|   | FOAM TANK ROOM EXHAUST FAN, 0.152KW, 220/180               | 1   |   | REV DIRECT-ON-LINE AND REVERSIBLE MOTOR STARTER, 440/380 | •   |
|   | WORKSHOP EXHAUST FAN, 0.375KW, 440/380                     | 1   |   | ✓ S-D STAR DELTA MOTOR STARTER, 440/380                  | •   |
|   | HOSPITAL EXHAUST FAN, 0.112KW, 220/180                     | 1   |   | OP GROUP PANEL   | •   |
|   | PAINT STORE EXHAUST FAN, 3.06KW, 440/380                   | 1   |   | GP GROUP STARTER PANEL, COMBINED WITH MCB                | 1   |
|   | CD2 ROOM EXHAUST FAN, 0.152KW, 220/180                     | 1   |   | LS LEVEL SWITCHES  | •   |
|   | MESH-RM EXHAUST FAN, 0.112KW, AC 440V                      | 1   |   | MV MAGNETIC VALVE FOR AIR COMPRESSOR UNLOADING           | •   |
|   | BOSUN STORE EXHAUST FAN, 0.230KW, AC 440V                  | 1   |   | PS PRESSURE SWITCHES                                     | •   |
|   | ANKU RM EXHAUST FAN, 0.460KW, AC 440V                      | 1   |   | RCE REMOTE CONTROL BUTTONS                               | •   |
|  | WELDING RM, EXHAUST FAN, 0.780KW, AC 440V                  | 1   |  | RCE REMOTE CONTROL BUTTONS, EXPLOSION PROOF TYPE         | •   |
|   | ENGINE DC TOILET EXHAUST FAN, 0.780KW, AC 440V             | 1   |   | TS TEMPERATURE SWITCH                                    | •   |
|   | BOAT DC TOILET EXHAUST FAN, 0.780KW, AC 440V               | 1   |   | TH THERMOSTAT  | •   |
|   | LAVATORY AND SHOWER (WARDENCK) 5.46 KW, AC 440 V           | 1   |   | WPH WHEELHOUSE CONTROL CONSOLE                           | 1   |
|   | HYD. POWER UNIT FOR SOLENOID BOARD, 2 x 1.5KW, 440/380     | 1   |   | INC INCINERATOR, 7KW, 440/380                            | 1   |
|   | SEWAGE TREATMENT PLANT, 3.4KW, 440/380                     | 1   |   | BP BOAT POWER FOR LIFEBOAT                               | 2   |
|   | SEWAGE TREATMENT DISCHARGE PUMP MOTOR, 3.4KW, 440/380      | 2   |   | MCC MAIN CONTROL CABINET FOR FIRE FIGHT, SYS.            | 1   |
|   | ELECTRICAL DRILLING MACHINE, 220/180                       | 1   |   | CPM CONTROL PANEL ALARM & INDICATOR                      | 1   |
|   | ELECTRICAL GRINDING MACHINE, 0.460KW, 440/380              | 1   |   | H HEATER   | •   |
|   | LATHI MACHINE, 440/220/380                                 | 1   |   | SV SOLENOID VALVE  | •   |
|  | JUNCTION BOX   |     |  | ECC ENGINE CONTROL CONSOLE                               | 1   |
|   | T TRAFQ FOR NORMAL SERVICE, 25.MVA, 450/220V, 1P, 50HZ     | 2   |   | CCC CARGO CONTROL CONSOLE                                | 1   |
|   | ET TRAFQ FOR EMERGENCY SERVICE, 18.MVA, 440/220V, 1P, 50HZ | 1   |   | II INTERFACE UNIT  | 1   |
|   | ES EMERGENCY STOP SWITCH, UNIT, 220/180                    | 4   |   | PS PUSH BUTTON   | •   |
|   | ES EMERGENCY STOP SWITCH, N.W.T FLUSH TYPE, 220/180        | 4   |   |  |     |

## REFERENCE TO FITTINGS

| SYMBOL | DESCRIPTION  | QTY | SYMBOL | DESCRIPTION                                       | QTY |
|--------|--|-----|--------|---|-----|
| ✓      | BC BATT. CHARGER, AUTOMATIC, 280/1800K, 2400000/10/1, 6A         | 1   | ✓      | CP CONTROL PANEL SW PRESSURE SET, 440356          | 1   |
|        | BAT BATTERY, LEAD-ACID, MARINE TYPE, 200 AH, 24V                 | 4   |        | CP CONTROL PANEL FW PRESSURE SET, 440356          | 1   |
|        | DB DISTRIBUTION PANELS, 7P-12 MCB TYPE, 240/3000-AMRE            | 2   |        | ACCP AIR COMPRESSOR CONTROL PANEL, 440356         | 2   |
|        | DB DISTRIBUTION PANELS, 7P MCB TYPE, 440356-AMRE                 | 1   |        | CMAP CARGO MONITOR & ALARM PANEL                  | 1   |
|        | DB DISTRIBUTION PANELS, 7P-12 MCB TYPE, 240/3000-AMRE            | 7   |        | MEAP MAIN ENGINE ALARM PANEL                      | 1   |
|        | DB DISTRIBUTION PANELS, 7P-12 MCB TYPE, 240/3000-AMRE            | 2   |        | GDMP GAS DETECTING ALARM PANEL                    | 1   |
|        | DB DISTRIBUTION PANELS, 7P-12 MCB TYPE, 240/3000-AMRE            | 3   |        |   |     |
|        | ESB AC EMERGENCY SWITCHBOARD, 440230356                          | 1   |        |   |     |
|        | DHP DC24V CHARGE & DISCH. PANEL                                  | 1   |        |   |     |
|        | NEP NAUTICAL AND COMMUNICATION EQUIPMENT PANEL, 220356           | 1   |        |   |     |
| ✓      | NLP NAVIGATION RUNNING LIGHT PANEL, AC220V100                    | 1   | ✓      |   |     |
|        | MSB MAIN ELECTRICAL SWITCHBOARD, 440230356                       | 1   |        |   |     |
|        | SS SHORE SUPPLY PANEL, 440356-AMRE                               | 1   |        |   |     |
|        | SLP SHORE LIGHT PANEL, AC220V100 & DC24V                         | 1   |        | HYD. PUMP UNIT STARTER FOR SOLENOID BOARD, 440356 | 1   |
|        | CDSP CONTACTOR CABINET HYD. PUMP, 440356                         | 1   |        | ME PRE HEATING OHC PUMP STARTER, 440356           | 1   |
|        | ACP AIR CONDITIONING PLANT, 440356                               | 1   |        |   |     |
|        | ACU AIR CONDITION UNIT FOR ECR, 5.4KW, 440356                    | 1   |        |   |     |
|        | CAL ELECTRICAL CALCULATOR, 440356                                | 1   |        |   |     |
|        | DOP DIESEL OIL PURIFIER PANEL, (64+4)0000V, 440356               | 2   |        |   |     |
|        | LCP LUB OIL PURIFIER PANEL, (40+4)0000V, 440356, WITH METER 180V | 2   |        |   |     |
| ✓      | PHT REF. COMP. PANEL, 440356, WITH HEATER 2.0KW                  | 1   | ✓      |   |     |
|        | PHT ELECTRIC PREHEATER FOR ME CIRCULATE WATER, 440356            | 1   |        |   |     |
|        | RANG MARINE ELECTRIC COOKING RANGE, 440356                       | 1   |        |   |     |
|        | ACU AIR CONDITION UNIT FOR GALLEY, 3.4KW, 440356                 | 1   |        |   |     |
|        | STP SEWAGE TREATMENT PLANT, 440356                               | 1   |        |   |     |
|        | WT WELDING TRANSFORMER MACHINE, 440356                           | 1   |        |   |     |



## DATA NILAI SETTING CIRCUIT BREAKER

| Nama CB | FLA   | Sensor | Isc min | Long Time |      |         |      | Short Time |       |             |
|---------|-------|--------|---------|-----------|------|---------|------|------------|-------|-------------|
|         |       |        |         | 1,05 FLA  | Iset | 1,4 FLA | TAP  | 1,6 FLA    | Iset  | 0,8 Isc min |
| CB 22   | 76,61 | 250    | 365     | 80,4405   | 100  | 107,254 | 0,4  | 122,576    | 250   | 292         |
| CB B18  | 76,61 | 250    | 365     | 80,4405   | 105  | 107,254 | 0,42 | 122,576    | 262,5 | 292         |
| CB G3   | 561,3 | 630    | 3970    | 589,365   | 630  | 785,82  | 1    | 898,08     | 945   | 3176        |
| CB A13  | 79,16 | 250    | 382     | 83,118    | 100  | 110,824 | 0,4  | 126,656    | 250   | 305,6       |
| CB G3   | 561,3 | 630    | 2980    | 589,365   | 630  | 785,82  | 1    | 898,08     | 1260  | 2384        |
| CB A15  | 74,2  | 250    | 357     | 77,91     | 100  | 103,88  | 0,4  | 118,72     | 250   | 285,6       |
| CB A9   | 168,4 | 250    | 840     | 176,82    | 225  | 235,76  | 0,9  | 269,44     | 500   | 672         |
| CB A21  | 76,17 | 250    | 367     | 79,9785   | 100  | 106,638 | 0,4  | 121,872    | 250   | 293,6       |
| CB G2   | 561,3 | 630    | 2980    | 589,365   | 630  | 785,82  | 1    | 898,08     | 1260  | 2384        |
| CB G1   | 561,3 | 630    | 2980    | 589,365   | 630  | 785,82  | 1    | 898,08     | 1260  | 2384        |

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

## BIODATA PENULIS



Shanti Window Siana, lahir di Malang pada tanggal 31 Oktober 1995. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Geluran III, SMP Negeri 1 Taman, dan SMA Negeri 15 Surabaya. Penulis melanjutkan Perguruan Tinggi pada tahun 2014 melalui jalur SNMPTN di Departemen Teknik Sistem Perkapal, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam beberapa kegiatan dari Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan, aktif sebagai bagian dari beberapa komunitas musik kampus, serta aktif dalam beberapa acara yang diselenggarakan oleh Institut Teknologi

Sepuluh Nopember maupun acara yang diselenggarakan oleh suatu *company*. Penulis merupakan *freelancer* di *wedding organizer* dan *event organizer* di Surabaya. Pada tahun terakhir perkuliahan, penulis bergabung menjadi anggota dari Laboratorium *Marine Electrical and Automation System* (MEAS) dan telah menyelesaikan tugas akhir dengan judul Pengaturan Koordinasi Proteksi Arus Lebih pada Sistem Kelistrikan di Kapal Tanker dengan Simulasi. Untuk kontak dapat menghubungi melalui email penulis di [sws.adsor@gmail.com](mailto:sws.adsor@gmail.com).